

ЗЕМЛЯ И

№3 (351)

МАЙ-ИЮНЬ, 2023

ISSN 0044-3948

астрономия
геофизика
космонавтика

ВСЕЛЕННАЯ



**«Арктика-М» –
новый этап спутниковых
гидрометеорологических
наблюдений**

**Гигантский ледник на Марсе
Жизнь на Венере**

ТРИ АСТРОНОМА-КОМАНДОРА

ЮБИЛЕЙ МАРСИАНСКОЙ АРМАДЫ

«ЧЕЛОВЕК ИДЕТ СКВОЗЬ ЗВЕЗДЫ»

издательство
НАУКА
— 1727 —

Издательство «Наука» оказывает услуги:

- **СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА**
редактирование
вёрстка
изготовление рисунков
- **ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ**
- **ВСЬ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ**
- **РАСПРОСТРАНЕНИЕ В МАГАЗИНАХ
«АКАДЕМКНИГА»**

Высокопрофессиональные специалисты «Науки»
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru

Тел.: +7 (495) 276-7735

Реклама

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц
на номера 2023 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1650 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу
в магазинах «Академкнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 310 руб.

«Природа» — 360 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 360 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**

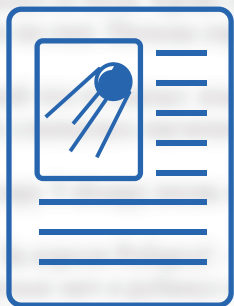


СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2023 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	255	90
«Природа»	315	90
«Энергия: экономика, техника, экология»	315	90

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.
Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГБУ «Издательство «Наука»:**
Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)
E-mail: journals@naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№3 (351)
МАЙ-ИЮНЬ, 2023

ISSN 0044-3948

астрономия
геофизика
космонавтика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На обложке:

Каньон Долина Маринера
на Марсе. Изображение получено
стереокамерой высокого
разрешения HRSC на борту
космического аппарата
«Марс-Экспресс» (ESA).
2 июня 2023 г. исполнилось
20 лет с момента запуска этой
миссии, в которой принимают
участие и российские ученые,
с космодрома Байконур.
Изображение:
ESA/DLR/FU Berlin/G. Michael,
CC BY-SA 3.0 IGO

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
АСМУС В.В., КРАМАРЕВА Л.С., ФИЛЕЙ А.А. «Арктика-М» – новый этап спутниковых гидрометеорологических наблюдений	5
КАЛАШНИКОВ Д.В., МИТРОФАНОВ И.Г. Гигантский ледник на Марсе	13
МИТРОФАНОВ И.Г., ДЬЯЧКОВА М.В., КАЛАШНИКОВ Д.В., ЛИСОВ Д.И., ЛИТВАК М.Л., НИКИФОРОВ С.Ю. Эксперимент ДАН: Термоядерный синтез для нейтронного зондирования поверхности Марса	23
ГОВОРОВА А.Ф. Жизнь на Венере	42
ЕМЕЛЬЯНОВ Н.В. Небесная механика на службе человечества	61

История науки

МАСЛИКОВ С.Ю. Три астронома-командора	68
ГЕРАСЮТИН С.А. Юбилей марсианской армады	76

Литературный космос

СОЛОВЬЕВ А.А. Стихи	96
---------------------	----

По выставкам и музеям

МАСЛОВА Ю.В. «Человек идет сквозь звезды»	98
Table of Content	111

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.
Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
член-корр. РАН
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
RAS Corr. Member Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr. Member Dr. Igor D. NOVIKOV
RAS Corr. Member Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

29 апреля журнал «Земля и Вселенная» побывал в гостях у московской библиотеки № 180, которая сегодня носит имя Н.Ф. Фёдорова. Поводом стала презентация первого в 2023 году номера журнала, почти полностью посвященного русскому космизму.

Наши постоянные читатели знают, что судьба этого номера оказалась непростой, выход из типографии сильно задержался. Будем надеяться, что эти усилия себя оправдали, и вам понравился номер, где мы рассказывали не только и не столько о космосе, сколько о том, какое значение в слово «космос» вкладывали даже не его предтечи и пророки, а, я бы сказал, предчувствователи: мыслители, художники, поэты.

Но вернусь к презентации 29 апреля. Признаюсь, к моему удивлению, она прошла при «полном аншлаге» – в небольшом конференц-зале Фёдоровки даже не хватило мест для всех желающих. Я хочу сердечно поблагодарить Библиотеку № 180 ОКЦ ЮЗАО г. Москвы и лично Анастасию Георгиевну Гачеву, ее главного библиотекаря (а также сотрудника ИМЛИ им. А.М. Горького РАН и автора нашего журнала), стараниями которой было организовано это мероприятие.

Презентацию открыл директор издательства «Наука» Н.Н. Федосеенков. Он рассказал об издательстве, в котором наш журнал (с небольшим перерывом) выходит уже более 65 лет. Кстати, само издательство в этом году 14 апреля отметило свой уже 100-летний юбилей!

Далее обсуждение перешло к собственно космизму. Настроение ему задали стихотворения М.И. Синельникова, прочитанные автором. Постоянные читатели наверняка помнят его произведения, которые публиковались и, смею надеяться, будут публиковаться на страницах нашего журнала и далее.

Разговор на презентации протекал как будто сразу в нескольких измерениях. Говорили о собственно феномене «русского космизма». В первую очередь,



конечно, называли имена Н.Ф. Федорова, К.Э. Циолковского, А.Л. Чижевского, художников начала XX века, и говорили об их наследии как материальном: сочинениях, документах и картинах, так и нематериальном: идеях и учениях. Л.Н. Морозова, директор дома-музея А.Л. Чижевского в Калуге, подробно рассказала об отношениях Чижевского и Циолковского – двух человек, которые начали развивать, если можно так выразиться, именно «естественнонаучный» космизм. Как выразилась Людмила Николаевна, Чижевский не только восторгался, не только любопытствовал, не только сочинял стихи, проникнутые, как мы говорим, космическим мироощущением, но и, по просьбе Циолковского,





начал первые в мире эксперименты по космической биологии.

Должен признаться, что я как представитель естественных наук, говоря о космизме, чаще ограничиваюсь фамилиями именно Циолковского, Чижевского и Вернадского. Поэтому мне было весьма интересно услышать очень сжатый обзор идей космизма, представленных А.Г. Гачевой. Она также представила Рудольфа Бьерана – исследователя и автора трилогии о русском космизме, которая недавно вышла во Франции. Вообще, мы привыкли думать о космизме как о более или менее русском явлении, однако похожие идеи, безусловно, развивались во всем мире – достаточно вспомнить знаменитого французского философа Тейяра де Шардена.

Однако, чтобы быть объективным, стоит сказать и то, что понятие «космизм» и в особенности «русский космизм» часто вызывают критику. Она основана на том, что понятия лишены четких границ и были придуманы, в общем, постфактум, поскольку сами представители этого течения себя таковыми не называли. Я, безусловно, не буду вдаваться в подробности, но все-таки скажу, что даже те странные, на взгляд ученого-естественника, представления, которые можно найти в философии космизма,

ценны как попытки интуитивно прозреть то, что пока не было «поверено алгеброй». И поддержку своему мнению я услышал от своего коллеги – И.А. Харичева, директора научно-популярного журнала «Знание – сила». Некоторое время назад в этом замечательном журнале была опубликована серия статей, посвященная размышлениям о русском космизме, организованная как бой мнений *pro et contra*. Но, как отметил Игорь Александрович, даже если мы

полностью согласимся с критикой конкретных представлений, она не отменяет того факта, что философы-космисты одними из первых поставили многие вопросы о значении деятельности человека в планетарном масштабе.

Мой короткий пересказ, конечно, не может передать все подробности и идеи, которые были высказаны во время презентации. Также я должен попросить прощения у тех, кого я не назвал в этой колонке. Но все желающие могут посмотреть запись мероприятия в интернете, сделанную благодаря Библиотеке № 180¹.

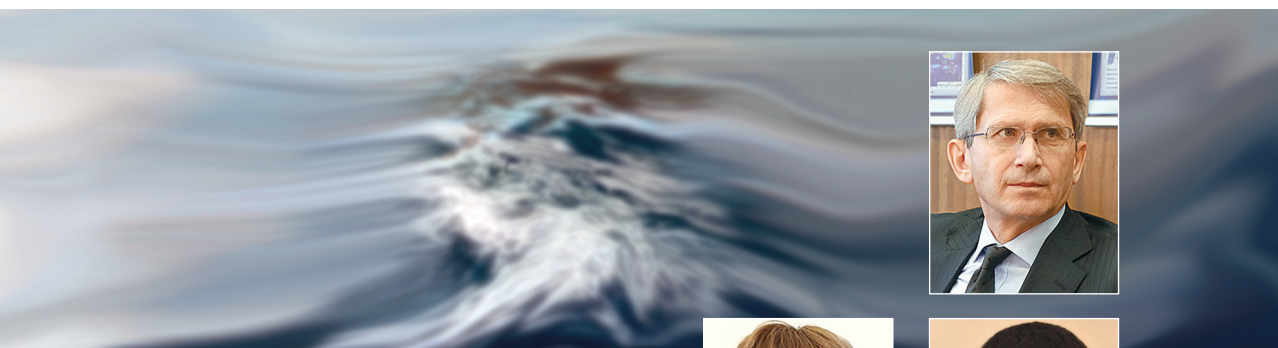
Также я хочу сказать большое спасибо издательству «Наука» за то, что гости презентации смогли не только послушать о журнале, но и увезти домой один из экземпляров прошлых лет. Надеюсь, что у журнала появятся новые читатели, и мы еще не один раз сможем встретиться на подобных мероприятиях.

Главный редактор
журнала «Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный

Благодарим за предоставленные
фотографии Библиотеку № 180
им. Н.Ф. Фёдорова ОКЦ ЮЗАО г. Москвы

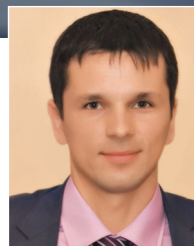
¹ Канал nffedorov: Русский космизм: презентация специального номера журнала «Земля и Вселенная»
<https://www.youtube.com/live/2FFgP1HFTAs>

«АРКТИКА-М» – НОВЫЙ ЭТАП СПУТНИКОВЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ



АСМУС Василий Валентинович
КРАМАРЕВА Любовь Сергеевна
ФИЛЕЙ Андрей Александрович

ФГБУ «Научно-исследовательский центр
космической гидрометеорологии «Планета»



DOI: 10.7868/50044394823030015

В статье представлены возможности высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы «Арктика-М», созданной в целях исследований климатических характеристик и атмосферных процессов в Арктическом регионе. Приведены основные характеристики и задачи полезной нагрузки космического аппарата «Арктика-М» № 1, дано описание наземного сегмента, получаемых информационных продуктов и инновационных подходов в обработке данных.

Арктика издревле считалась холодной, пустынной и таинственной землей, но при этом очень чувствительной к глобальным изменениям, вызванным как климатическими, так и антропогенными факторами. Так, например, несвойственные для высокоширотной Арктики грозовые явления все чаще фиксируются в последние несколько лет. По данным Росгидромета первые официальные данные о грозе в этом регионе отмечены в июне

2019 года на острове Большевик – тогда гроза длилась 40 минут. В 2021 году ученые наблюдали атмосферное явление дважды – в конце июня и начале июля; длительность грозы составила 40 и 25 минут соответственно. В 2022 году грозовой период был наибольшим за всю историю наблюдений. Тот факт, что грозовые облака добрались до высоких широт Арктики, является очередным свидетельством изменений циркуляции атмосферы.

В последние десятилетия Арктика теплеет в два раза быстрее, чем Земля в целом, а ее российский сектор (если говорить о последних годах) – даже в четыре раза быстрее. Хорошо это или плохо покажет время, но то, что подобное потепление требует длительного и скрупулезного исследования не вызывает никакого сомнения, и для этого нужна оперативная и объективная информация. Такую информацию о регионе можно получить только с использованием технологий спутникового дистанционного мониторинга.

28 февраля 2021 года на высокоэллиптическую орбиту Земли был запущен российский гидрометеорологический космический аппарат (КА) «Арктика-М» № 1. Для него была выбрана наиболее рациональная орбита с высотой апогея 40 000 км, высотой перигея 1000 км, периодом обращения 12 часов, из которых 6.5 часов занимает рабочий участок орбиты, на котором непосредственно производится съемка земного диска.

Основная целевая аппаратура КА – это многозональное сканирующее устройство гидрометеорологического обеспечения (МСУ-ГС/ВЭ). Оно позволяет обеспечивать съемку арктического региона Земли в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Пространственное разрешение съемки составляет 1 и 4 км для двух указанных спектральных диапазонов соответственно. Здесь следует пояснить, что в отличие от других источников пространственной информации космические снимки дешифрируются не в масштабе съемки, а с достаточно большим увеличением. Поэтому понятие масштаба считается весьма условным, гораздо более важно для космической съемки понятие пространственного разрешения. Пространственное разрешение – это размер самой малой детали местности, воспроизводимой на снимке. Это разрешение определяется

размером пикселя. То есть у снимка с пространственным разрешением 1 км пиксель имеет минимальный размер 1×1 км. Временное разрешение съемки – это частота (периодичность) съемки. Она составляет или 15 минут (учащенный режим), или 30 минут для получения информации метеорологического и гидрологического назначения в любое время суток. Чем выше временное разрешение, тем чаще происходит получение информации.

Впервые в мире был осуществлен запуск гидрометеорологического спутника на высокоэллиптическую орбиту. Получение информации с КА «Арктика-М» № 1 позволило проводить оперативный полномасштабный мониторинг приполярных районов севернее 60° с.ш. и морей Северного Ледовитого океана. Этот регион Земли недоступен для наблюдения со спутников на геостационарной орбите, а низкоорбитальные метеорологические спутники не обеспечивают наблюдение высокоширотных районов с требуемой периодичностью, позволяющей увидеть не только распределение облачности, но и ежечасно наблюдать ее трансформацию, перемещение фронтов, зарождение циклонов. Международное научное сообщество оценило запуск КА «Арктика-М» № 1 как пионерский успех мирового уровня. Большой объем получаемых данных способствует повышению качества прогнозов погоды и дает ученым дополнительную возможность изучения глобального изменения климата.

НАЗЕМНЫЙ СЕГМЕНТ «АРКТИКА-М»

Прием, обработка, архивация и распространение спутниковых данных с КА «Арктика-М» № 1 осуществляется на базе действующей Государственной территориально-распределенной

системы космического мониторинга Росгидромета с использованием существующей научно-технической наземной инфраструктуры (НКПОР-АМ Росгидромета). В состав НКПОР-АМ Росгидромета входят:

- Европейский, Сибирский и Дальневосточный центры Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» (НИЦ «Планета»);
- средства связи и обмена данными;
- сеть платформ сбора данных (ПСД), размещенных в территориальных подразделениях Росгидромета;
- аппаратно-программные средства двусторонней радиосвязи (АПС ДРС-АМ).

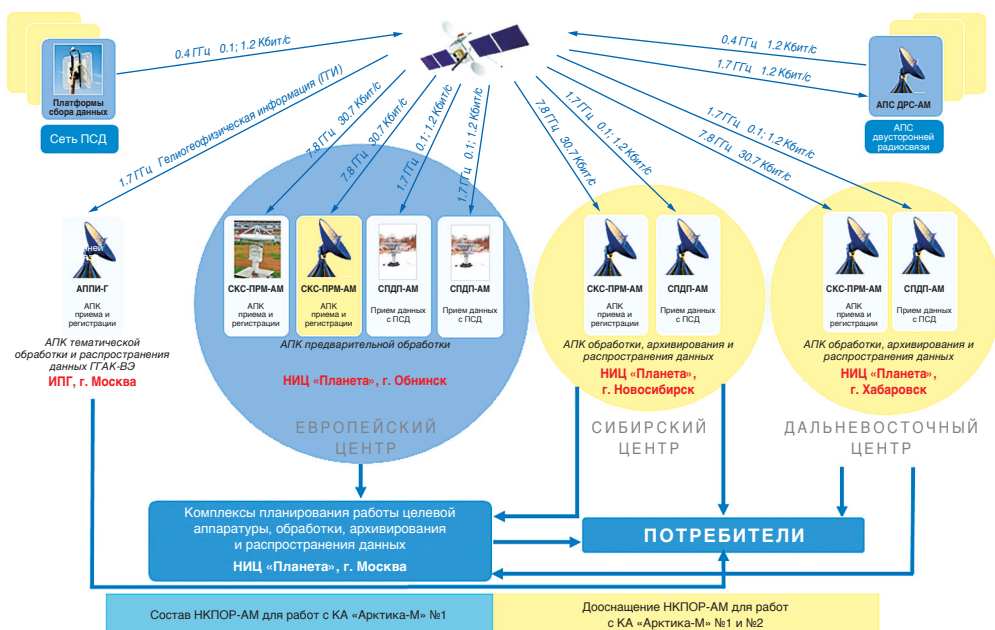
СИСТЕМА СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Важно отметить, что КА «Арктика-М» № 1 введен в состав сети платформ сбора данных (ПСД). Связная полез-

ная нагрузка, установленная на спутнике, позволяет осуществлять сбор и ретрансляцию гидрометеорологических и геофизических данных с наземных ПСД и исследовательских станций.

Сбор информации через КА «Арктика-М» № 1 значительно расширил зону покрытия сети ПСД на базе действующих геостационарных КА «Электро-Л» № 3, «Электро-Л» № 2 и «Луч-5В» в арктическом регионе. Кроме того, КА «Арктика-М» оснащен системой поиска и спасения КОСПАС-САРСАТ, которая обеспечивает предоставление точных, своевременных и надежных данных о бедствии. КА успешно используется в космической системе двусторонней радиосвязи на частотах метеорологических спутников, которая позволяет не только передавать данные наблюдений с удаленных труднодоступных станций, но и управлять этими станциями дистанционно.

Функциональная схема наземного сегмента «Арктика-М» – текущий и перспективный состав НКПОР-АМ Росгидромета

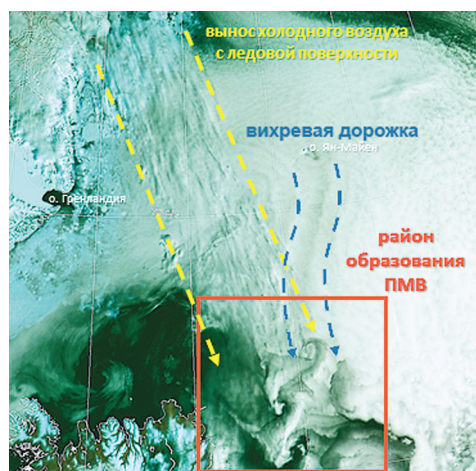


ВАЖНЕЙШИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ

С помощью комплекса программно-технических средств НКПОР-АМ на основе тематической обработки информации целевой аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ создается широкий спектр различных видов информационной продукции. В первую очередь это статичные и анимационные изображения облачности и подстилающей поверхности в различных диапазонах спектра, гидрометеорологические параметры и характеристики облачного покрова (балльность, высота и температура верхней границы облачности, тип облачности, фазовый состав и др.), а также данные о скорости и направлении ветра на различных уровнях атмосферы и др. Описание некоторых важнейших метеорологических продуктов представлено в статье.

Для северных морей с помощью данных целевой аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ КА «Арктика-М» № 1 впервые в мире

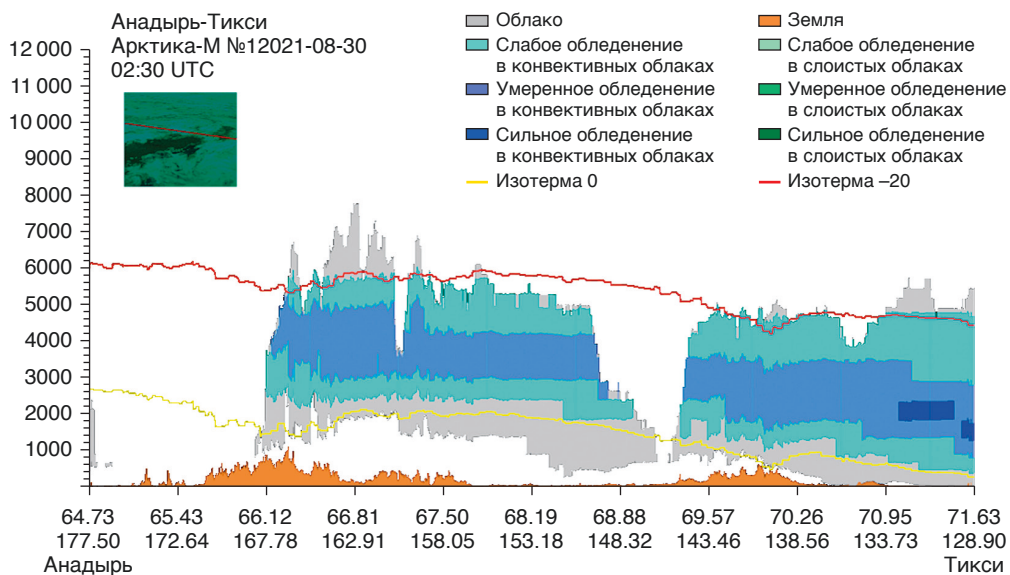
Цепочка полярных мезомасштабных вихрей на изображении, полученном КА «Арктика-М» № 1 29 апреля 2021 года



решена одна из приоритетных задач оперативной метеорологии – мониторинг и прогнозирование возникновения полярных мезомасштабных циклонов (ПМЦ), приводящих к внезапным и резким ухудшениям погоды – штормовому волнению и ветру, обледенению судов и сооружений, снежным заносам с ухудшением видимости. Поскольку размеры ПМЦ незначительны по сравнению с крупномасштабными барическими образованиями, а срок их жизни в большинстве случаев составляет менее суток, они не всегда обнаруживаются на синоптических картах, что усугубляется недостатком стандартных метеорологических наблюдений в высоких морских широтах.

Одним из примеров внезапно возникшего ПМЦ может служить неустойчивость, образовавшаяся 29 апреля 2021 года к югу от острова Ян-Майен (остров между Гренландским и Норвежским морями) по типу вихревой дорожки Кармана. Физик Теодор фон Карман (1881–1963) был первым, кто в 1911 году обнаружил и описал образование особой последовательности вихрей при обтекании кругового цилиндра, ось которого перпендикулярна встречному потоку, и описал условия ее формирования. Подобные циркуляционные вихри настолько масштабны, что их видно из космоса в поле облачности, когда ветер обтекает вершины гор и вулканов, расположенных на островах. Поскольку ветер отклоняется вокруг этих высоких областей, возмущение потока распространяется вниз по потоку в форме вихрей, чередующихся по направлению вращения.

Появление такого циклона было вызвано, например, обтеканием воздушным потоком вулкана Беренберг (высота – 2277 м над уровнем моря), расположенного в северной части острова.

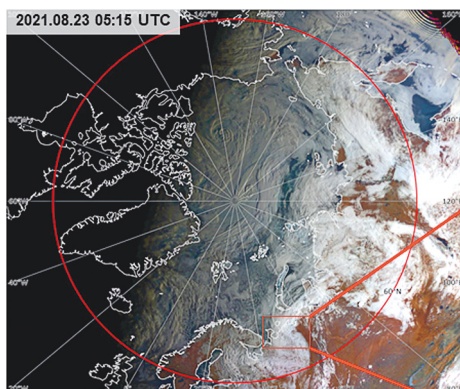


Пример карты вертикального разреза облачности и границ обледенения по маршруту Анадырь-Тикси 30 августа 2021 года

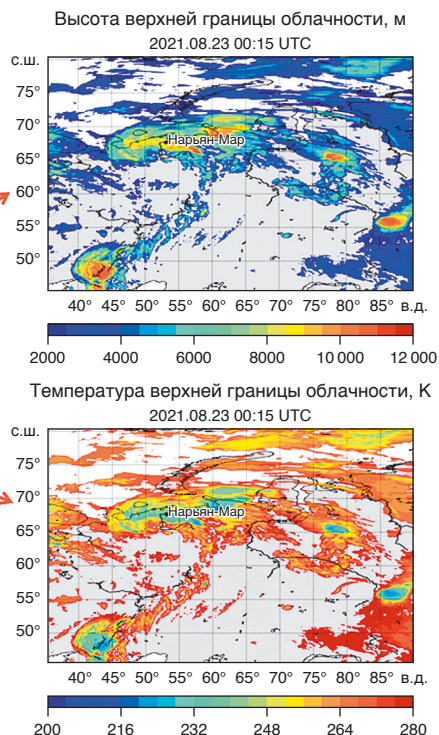
Одновременно с этим отмечался мощный вынос холодного воздуха с ледовой поверхности острова Гренландия на относительно теплую поверхность моря. Совокупность этих условий привела к развитию цепочки полярных мезомасштабных вихрей (ПМВ) из «хвоста» вихревой дорожки Кармана.

В НИЦ «Планета» на основе обработки 15-ти минутных данных КА «Арктика-М» № 1 разработана технология для построения карт вертикальных разрезов облачности и определения границ обледенения по воздушным трассам. Карты, полученные для полярных воздушных трасс, показывают хорошее качество и востребованы у экипажей в ходе проведения предполетных инструктажей для планирования маршрута. Отметим, что подобные продукты, являющиеся результатами обработки данных российских метеорологических спутников, ранее не создавались.

Опыт последних лет показывает, что масштабные климатические изменения и природные катаклизмы все чаще возникают в северных широтах, которые слабо обеспечены не только спутниковой информацией, но и основными видами метеорологических наблюдений. Общеизвестно, что главное назначение метеорологических спутников состоит в обнаружении опасных метеорологических явлений. И это не просто предоставление статичных изображений облачности, которые привыкли анализировать синоптики, а возможность получения качественных информационных продуктов динамики явления, не уступающих данным метеорологических радиолокаторов, которых в полярных широтах практически нет. С запуском КА «Арктика-М» № 1 появилась возможность детектирования в приполярных районах так называемых «облачных шапок», указывающих на возможность



В полночь 23 августа через г. Нарьян-Мар проходил холодный атмосферный фронт. Его прохождение сопровождалось «холодной» грозой (при температуре $+10^{\circ}\text{C}$), сильным ливневым дождем (выпало 17 мм осадков) и порывистым северо-восточным ветром (до 15 м/с). Нарьян-Мар расположен за полярным кругом, в 100 км от побережья Баренцева моря. В местном климате грозы – явление редкое, как правило, они фронтальные.



*Анализ условий возникновения «холодной грозы» в г. Нарьян-Мар (за полярным кругом)
23 августа 2021 года по данным КА «Арктика-М» № 1*

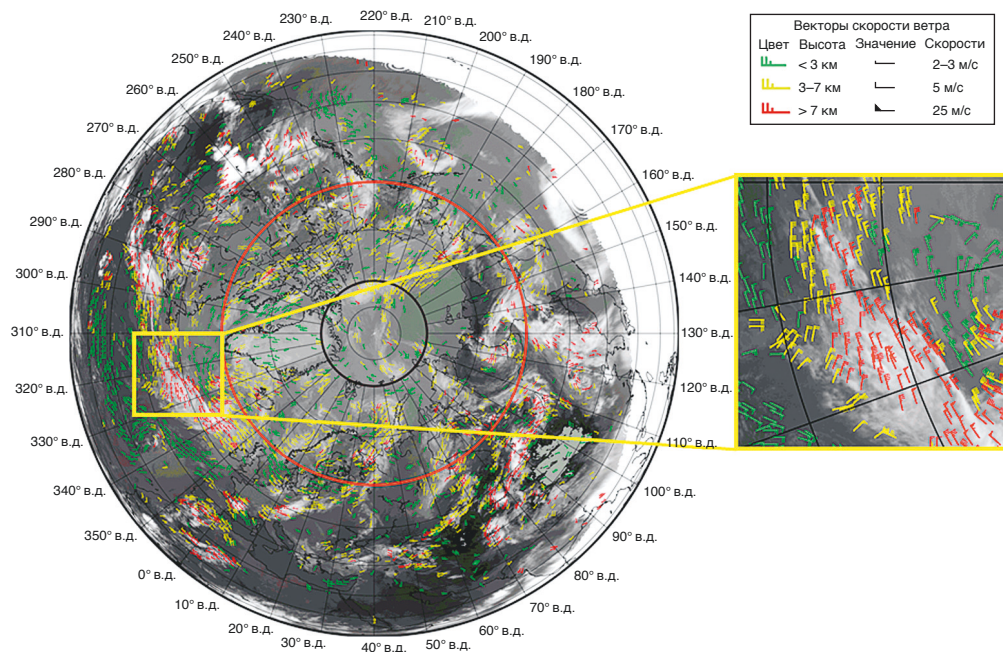
возникновения опасных явлений погоды, выявления районов с мощной, или «взрывной», конвекцией, сопровождающейся, как правило, разрушительным шквалистым ветром, аномальными ливнями, интенсивными грозами и выпадением града.

При таких процессах очень быстро меняется структура облачности и ее параметры, от которых зависят распределение и интенсивность осадков, максимальная скорость ветра при порывах у поверхности Земли и т. д. Выявить такие изменения можно только по данным, сбор которых ведется достаточно часто (т. е. получаемым с высокой дискретностью по времени) и дающим детализированные изображения (т. е. имеющим достаточное

пространственное разрешение), что определяет целесообразность использования КА «Арктика-М» № 1.

Помимо облачности, данные, получаемые от МСУ-ГС/ВЭ с высокой дискретностью, являются уникальными для определения таких характеристик ветра, как скорость и направление на различных уровнях атмосферы в арктическом регионе и прилегающих территориях. Такие данные позволят не только качественно повысить точность численных схем прогноза метеорологических элементов, но, что самое главное, увеличить их заблаговременность.

Еще одной важной задачей КА «Арктика-М» является наблюдение за движением льдов и выявление больших



Пример карты векторов ветра, рассчитанных по данным КА «Арктика-М» № 1

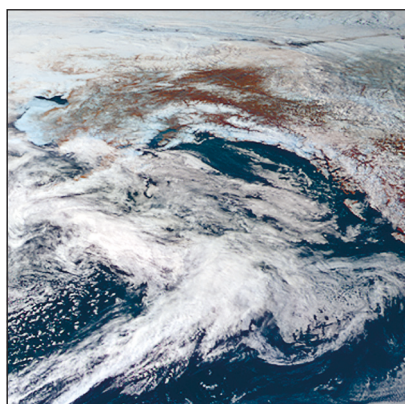
широких трещин, что составляет значительную часть работы по обеспечению безопасной навигации по Северному морскому пути. Данные аппаратуры МСУ-ГС/ВЭ позволяют отслеживать крупномасштабный дрейф льда за короткие интервалы времени и определять районы интенсивного движения льда со скоростью не менее 1 км/час, представляющего особую опасность для судоходства и морских отраслей хозяйственной деятельности.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ТРЕБУЮТ НОВЫХ ПОДХОДОВ

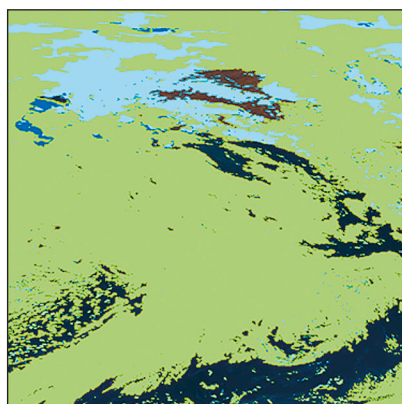
В настоящее время в области дистанционного зондирования Земли все большее распространение получают методы, использующие машинное обучение и, в частности, нейронные сети.

Машинное обучение позволяет использовать в качестве входных данных не только отдельные значения каждого пикселя изображения, но и текстуры. Исследователи установили, что особенно эффективны в этом отношении нейронные сети сверточного типа, самостоятельно извлекающие наиболее полезные признаки в процессе их обучения.

Учитывая сложные условия арктического региона с точки зрения схожести спектральных и текстурных характеристик облачности и подстилающей поверхности, в НИЦ «Планета» по оперативным сеансам съемки КА «Арктика-М» № 1 набрана выборка текстурных данных, соответствующая следующим пяти классам: чистая подстилающая поверхность, облака, снег, лед и дым. Общий объем набранных текстур составил 26 тыс. маркеров.



Синтез каналов КА Арктика-М №1
0.6, 0.7 и 0.9 мкм



Маска, полученная
классификатором

Облачность
Снег
Лед

Синтезированное изображение, сформированное КА «Арктика-М» № 1 (слева), и маски облачности, снега и льда, полученные с применением нейросетевого классификатора (справа)

Другими словами, таково общее количество примеров для обучения нейронной сети. Каждый пример вручную размечен, т. е. ему присвоена метка класса (маркер) в зависимости от того, что изображено в центре текстуры.

В результате экспериментов по обучению различных архитектур нейронных сетей выявлена наилучшая конфигурация, которая позволила автоматизировать процесс идентификации облачности, снега и льда с высоким уровнем точности.

Без такой идентификации невозможно создавать большой перечень информационных продуктов, среди которых карты типов облачности и интенсивности осадков, температуры поверхности воды и льда, распределения снежного покрова, характеристик ледяного покрова. Внедрение таких продуктов позволит обеспечить подразделения Росгидромета информацией, не уступающей по своей точности данным геостационарных КА, но покрывающей территорию, ранее не доступную для

спутниковых наблюдений с высоким временным разрешением.

В заключение отметим, что в настоящее время НИЦ «Планета» готовит значительно больший перечень информационных продуктов по данным КА «Арктика-М» № 1, не представленных в статье, но, безусловно, имеющих значимость для специалистов при анализе и прогнозе текущих гидрометеорологических условий и глобальных климатических изменений.

Литература

1. Асмус В.В., Милехин О.Е., Крамарева Л.С., Хайлов М.Н., Шириаков А.Е., Шумаков И.А. Первая в мире высокоэллиптическая гидрометеорологическая космическая система «Арктика-М» // Метеорология и гидрология. № 12. С. 11–26. 2021.
2. Тасенко С.В., Денисова В.И., Коломин В.Ю., Шириаков А.Е. Космическая система «Арктика-М» – уникальный инструмент для анализа и прогноза космической погоды // Метеорология и гидрология. № 12. С. 27–32. 2021.

ГИГАНТСКИЙ ЛЕДНИК НА МАРСЕ



КАЛАШНИКОВ Денис Вадимович
МИТРОФАНОВ Игорь Георгиевич,

доктор физико-математических наук

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394823030027

Марс, будучи почти в два раза меньше по размеру Земли и Венеры, тем не менее является «чемпионом» среди планет по формам рельефа. Формы эти вдобавок относительно компактно размещены в районе экватора – как будто специально¹, чтобы будущие марсианские путешественники не потратили слишком уж много времени за последующую возможность сказать «я видел самые высокие горы в Солнечной системе» или «я видел самые глубокие пропасти на свете».

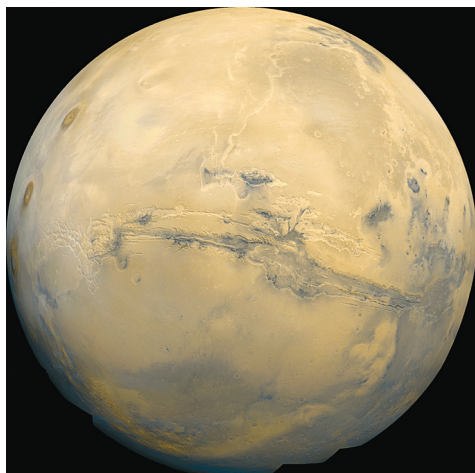
Действительно, если такие исследователи будут лететь вдоль нулевой параллели от 140-го меридиана на восток, то практически сразу они увидят с правой

стороны чемпиона нашей планетной системы гору Олимп (Olympus Mons) абсолютной высотой 21 229 м. Затем прямо перед собой горную цепь Фарсиды (Tharsis) – горы Аскрийская (18.1 км), Павлина (14 км) и Арсия (17.7 км), занимающие 5-е, 9-е и 6-е место по высоте в Солнечной системе. Наконец, пролетев над краем крупнейшей на Марсе системы пересекающихся каньонов Лабиринта Ночи (Noctis Labyrinthus), путешественники окажутся на краю бездны – над Долиной Маринер (Valles Marineris), самым большим каньоном на планетах Солнечной системы.

«МАРИНЕРЫ» ДАЛИ ИМЯ ГИГАНТСКОМУ КАНЬОНУ НА МАРСЕ

Строго говоря, Долина Маринер – это не один каньон, а целая их система, включающая каньоны Титон, Ио,

¹ Не специально, но обусловленность феномена Долины Маринер близостью Фарсиды возможна и рассматривается, см., например: *Andrews-Hanna J.C. (2012), The formation of Valles Marineris: 2. Stress focusing along the buried dichotomy boundary // J. Geophys. Res., 117, E04009. DOI: 10.1029/2011JE003954*



Марс с Долиной Маринер.

Снимок, составленный из 102 фотографий, сделанных 22 февраля 1980 г. орбитальным аппаратом Viking-1 (США). Слева хорошо видны горы Фарсиды и каньон Лабиринт Ночи. Такими бы их увидел путешественник с космического корабля, пролетающего на высоте 2500 км от поверхности Марса. NASA/JPL

Мелас, Офир, Кандор, Копрат, Эос, Капри и Ганг, ее общая протяженность – более 4 тыс. км, глубина может достигать 10 км, а максимальная ширина составляет 600 км.

Интересно, что астрономы, наблюдавшие Марс в телескопы в конце XIX – начале XX вв. и украсившие марсианские карты протяженной сетью каналов, совершенно «не заметили» этот гигантский «шрам» на поверхности планеты². Лишь первый искусственный спутник Марса, американская межпланетная автоматическая станция Mariner-9, проводившая с ноября 1971 г. глобальную фотосъемку Марса³, сначала не очень успешную

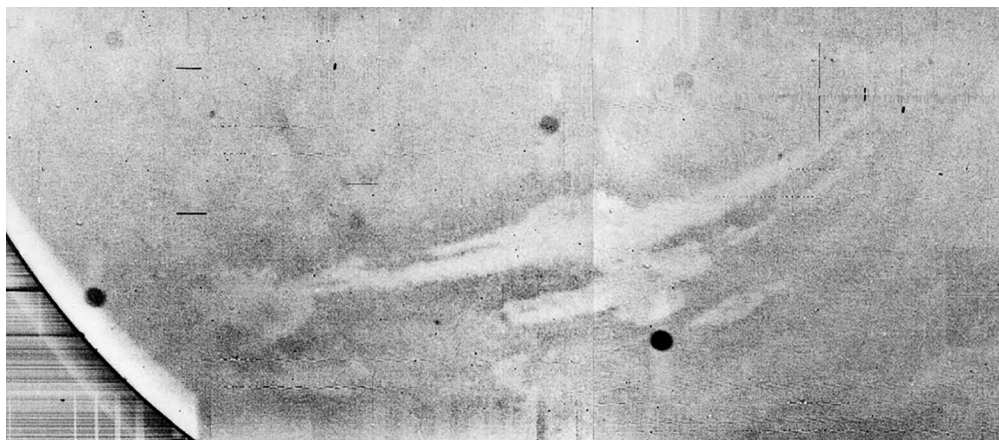
из-за сильной пылевой бури, в январе 1972 г., когда буря наконец стихла, передала на Землю первые снимки марсианской поверхности, где были видны и многочисленные каньоны, и около 20 вулканов. В их числе была гигантская гора, впоследствии названная Олимпом, и поражающий воображение грандиозный каньон в экваториальной области⁴ – тоже пока безымянный. Много еще чего человечество увидело тогда на тех изображениях – всего «...на основании фотографий марсианской поверхности, полученных Mariner-9 в 1972–1973 гг., собственные названия в соответствии с резолюцией XV Генеральной ассамблеи МАС (Сидней, 1973 г.) получили 189 кратеров, 3 цепочки, 13 каньонов, 13 борозд, 3 области столовых гор, 5 отдельных гор, 5 горных массивов, 9 пater, 10 равнин, 7 плато, 11 куполов, 12 долин, гряда, лабиринт и великая равнина»⁵. Совершенно справедливо, что среди этих названий были увековечены и их первооткрыватели – космические аппараты программы «Маринер», которые внесли значительный вклад в исследования Венеры, Марса и Меркурия. Так, колоссальная система каньонов на Марсе по предложению американского астронома Уильяма Пикеринга получила название «Valles Marineris» – Долина Маринер. Любопытно, что решающий вклад в ее открытие мог внести Mariner-7, пролетевший над Марсом 5 августа 1969 г. и успешно заснявший «темный короткий канал» каньона Копрат

² Еремеева А.И. Джованни Скиапарелли // Земля и Вселенная. 2010. № 5. С. 45–52.

³ Гаган К. Марс с «Маринера-9» // Земля и Вселенная. 1973. № 5. С. 8–17.

⁴ Siddiqi A.A. Beyond Earth: a chronicle of deep space exploration, 1958–2016. Deep space chronicle. Second edition, Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, Office of Communications, NASA History Division, 2018. P. 130.

⁵ Бурба Г.А. Номенклатура деталей рельефа Марса. М.: Наука, 1981. С. 24.



Долина Маринер. Фотография составлена из снимков, полученных американской АМС Mariner-9 в начале 1972 г. NASA/JPL

(Coprates Chasma)⁶. Другие качественные изображения поверхности Марса в 1969 г. получить по ряду причин не удалось и человечество узнало о Долине Маринер более чем на два года позже.

Получается, что с 1972 г. начинается свой отсчет период исследований Долины Маринер, который по прошествии 50 лет все еще очень далек от завершения и главные открытия в котором, как будет показано ниже, могут быть еще впереди.

Основной научной загадкой Долины Маринер было, и, пожалуй, остается, само ее происхождение. Практически сразу было высказано предположение⁷, что, в отличие от «прорезанного» рекой Большого каньона в США, Долина Маринер – это результат тектонических процессов. Вначале 1970-х гг., когда благодаря исследованию планет с помощью автоматических станций знания о Марсе колоссально выросли

и прежние представления о «живой» планете сменилось картиной сухого и холодного Марса, гипотеза о тектоническом происхождении Долины Маринер была вполне естественной. Сейчас необходимо признать, что данная гипотеза продолжает оставаться господствующей, однако детали процесса формирования Долины, в том числе и роль в нем водной эрозии, далеки от полного выяснения.

Согласно одной из гипотез, исходной причиной образования Долины стал мощнейший удар в ранний период геологической истории Марса⁸. Вследствие этого удара северное полушарие планеты приобрело новый ландшафт, в то время как на юге он остался без изменений. Территория, где в дальнейшем образовалась Долина Маринер, расположена южнее и вдоль линии дихотомии, которая разделяет молодую северную и древнюю южную область планеты. В Нойский геологический период, 4.1–3.8 млрд лет назад, на гра-

⁶ Hartmann W.K., Raper O. The new Mars: The discoveries of Mariner 9. Washington, DC: NASA, 1974. P. 89. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19750005657/downloads/19750005657.pdf>

⁷ Hartmann et al. Ibid. P. 91.

⁸ Andrews-Hanna J., Zuber M., Banerdt W. The Borealis basin and the origin of the martian crustal dichotomy // Nature 453, 1212–1215 (2008): <https://doi.org/10.1038/nature07011>

нице дихотомии к западу от будущей Долины Маринер сформировался вулканический горный массив Фарсиды (Tharsis). Дальнейшее сложное взаимодействие вулканической активности, прогибов и растяжений коры, водных процессов с осадочным заполнением формирующихся впадин и их оседания под нагрузкой осадочных пород и привело к образованию этого гигантского каньона⁹.

Наличие в прошлом воды в Долине Маринер признавалось возможными многими исследователями: «Большая экваториальная система расселин или каньонов... расположена между плато со сложными разломами на западе и большими участками хаотичного ландшафта на востоке. Возможно, в результате таяния вечной мерзлоты большие речные каналы берут начало в этой хаотической местности и текут на север, на равнину Хриса (Chryse Planitia)»¹⁰.

МАРСИАНСКИЕ НОВОСТИ

Исследования и фотосъемка Марса с помощью автоматических станций начиная с 1999 г. предоставили новые

данные для исследований Долины Маринер, следствием чего стал ряд научных работ на эту тему, вышедших в первое десятилетие XXI в. Так, анализ результатов наблюдений камерой МОС на борту АМС Mars Global Surveyor (США) и камерой THEMIS на борту АМС Mars Odyssey (США)¹¹ показали, что особенности строения рельефа каньона Мелас (Melas Chasma) свидетельствуют о его формировании в поздний Гесперийский период около 3.5 млрд лет назад с воздействием потоков воды и даже возникновением озера. Круговорот воды существовал в Долине Маринер в этот период, по крайней мере, эпизодически¹².

На основе анализа форм рельефа в Долине Маринер, в том числе их сравнения с земными формами, было высказано предположение о существовании в ней огромного ледника в Гесперийском и раннем Амазонийском периодах, приблизительно 3.5–1.4 млрд лет назад. В качестве причин оледенения назывались эпизодические изменения оси наклона Марса, в результате чего гигантский каньон оказывался в полярной области, причем расположение древнего южного полюса предполагалось в Лабиринте Ночи¹³. Возможное оледенение также допу-

⁹ Andrews-Hanna J. The Formation of Valles Marineris, Mars // 42nd Lunar and Planetary Science Conference (2011): <https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2011/pdf/2182.pdf>; Andrews-Hanna J.C. The formation of Valles Marineris: 1. Tectonic architecture and the relative roles of extension and subsidence // J. Geophys. Res., 2012, 117, E03006. DOI: 10.1029/2011JE003953; Andrews-Hanna J.C. The formation of Valles Marineris: 2. Stress focusing along the buried dichotomy boundary // J. Geophys. Res., 2012, 117, E04009. DOI: 10.1029/2011JE003954; Andrews-Hanna J.C. The formation of Valles Marineris: 3. Trough formation through super-isostasy, stress, sedimentation, and subsidence // J. Geophys. Res., 2012, 117, E06002. DOI: 10.1029/2012JE004059

¹⁰ Masursky H. An overview of geological results from Mariner-9 // J. Geophys. Res., 1973, 78 (20), 4009–4030, DOI: 10.1029/JB078i020p04009

¹¹ Герасютин С.А. Полеты автоматических межпланетных станций // Земля и Вселенная. 1997. № 4. С. 64–66; Земля и Вселенная. 1998. № 3. С. 54; 2001. № 5. С. 20–22.

¹² Водяной лед на Марсе («Марс Одиссей») // Земля и Вселенная. 2003. № 6. С. 110–111. Quantin, C., Allemand, P., Mangold, N., Dromart, G., and Delacourt, C. Fluvial and lacustrine activity on layered deposits in Melas Chasma, Valles Marineris, Mars // J. Geophys. Res., 2005, 110, E12S19. DOI: 10.1029/2005JE002440

¹³ Mège D., Bourgeois O. Equatorial glaciations on Mars revealed by gravitational collapse of Valles Marineris wallslopes // Earth and Planetary Science Letters. Vol. 310. Issues 3–4, 2011. P. 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.08.030>

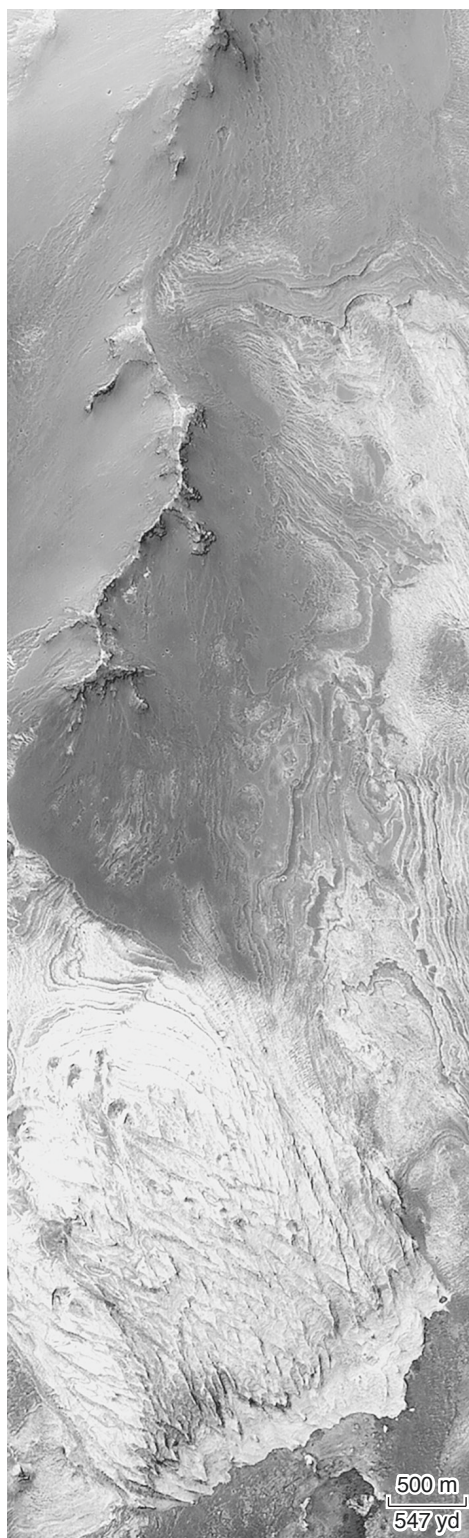
скалось и в более ранние периоды: «...гигантская система долин, протянувшаяся вдоль марсианского экватора, была полностью покрыта льдом в период от позднего Ноя до начала Гесперийского периода и до сих пор содержит огромные объемы ископаемого льда, унаследованные от этого древнего оледенения»¹⁴.

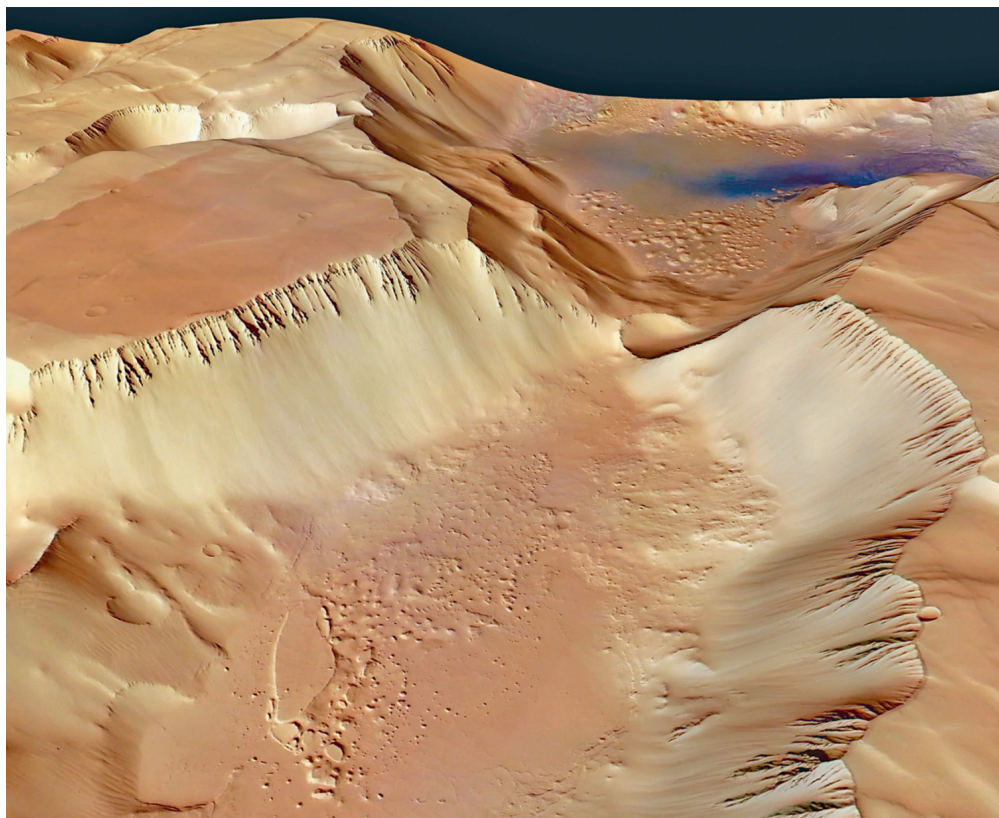
Вода в Гесперийский период присутствовала в Долине отнюдь не только в виде льда: геологические данные свидетельствуют о самых разных гидрологических процессах: и об осадках, и о выходе грунтовых вод из стенок каньона, и о стоках с плато¹⁵. Указывалось, что эти процессы могли происходить уже после климатического оптимума Нойского периода около 4 млрд лет назад, когда атмосфера Марса была более плотной, чем сейчас, а климат настолько теплым и влажным, что на нем текли реки, разливались озера, шли дожди. В качестве возможных причин назывались региональные особенности Долины Маринер – высокое давление и низкая температура на ее дне, повышенная геотермальная активность¹⁶.

¹⁴ Gourronc M., Bourgeois O., Mège D. et al. One million cubic kilometers of fossil ice in Valles Marineris: Relicts of a 3.5 Gy old glacial land-system along the Martian equator // *Geomorphology*. Vol. 204, 2014. P. 235–255. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.009>

¹⁵ Davis J.M., Grindrod P.M., Fawdon P. et al. Episodic and declining fluvial processes in southwest Melas Chasma, Valles Marineris, Mars // *Journal of Geophysical Research: Planets*, 2018, 123, 2527–2549: <https://doi.org/10.1029/2018JE005710>

¹⁶ Там же.





Стереоснимок каньона Лабиринт Ночи в Долине Маринер, получен в 2016 г. AMC Mars Express (ESA). ESA/NASA

Вопрос о современных гидрологических процессах в Долине Маринер напрямую связан с интереснейшим феноменом Марса – проблемой RSL (recurring slope lineae). Этот термин может быть переведен, как «повторяющиеся полосы на склонах» – это явление представляет собой узкие, с шириной 0.5–5 м полосы на склонах, увеличивающиеся в размерах летом и уменьшающиеся зимой и наблюдаемые в течении нескольких лет. Долина Маринер является районом самой большой концентрации RSL – здесь находится более половины от полного числа наблюдаемых объектов, плотность их расположения на поверхнос-

ти также представляется наибольшей на планете¹⁷.

Существуют разные гипотезы о природе указанных полос, но в целом для них предложены две основные концепции – «сухая», не подразумевающая участия в их образовании воды, и «влажная», объясняющая этот феномен влиянием водной среды. Во втором случае Долина Маринер может оказаться областью самой высокой гидрологической активности на современном Марсе.

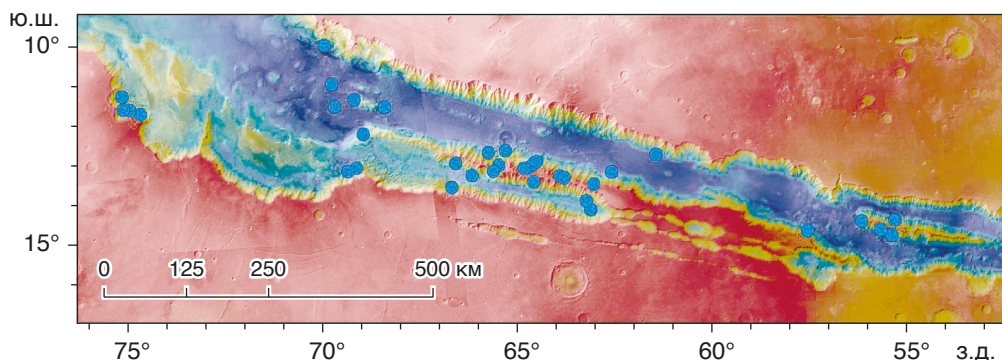
¹⁷ Stillman D.E., Michaels T.I., Grimm R.E. Characteristics of the numerous and widespread recurring slope lineae (RSL) in Valles Marineris, Mars // *Icarus*. Vol. 285. 2017. P. 195–210: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2016.10.025>

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МАРСА НЕЙТРОННЫМ ТЕЛЕСКОПОМ

Важный вклад в изучение Долины Маринер сравнительно недавно был сделан российскими учеными. В марте 2016 г. к Марсу стартовала автоматическая межпланетная станция Trace Gas Orbiter российско-европейского проекта «ЭкзоМарс»¹⁸. На его борту установлен российский прибор ФРЕНД (FRIEND, Fine Resolution Epithermal Neutron Detecor – детектор тепловых нейтронов с высоким разрешением), с помощью которого проводится регистрация и картографирование собственного нейтронного излучения Марса с высоким пространственным разрешением¹⁹. Излучение нейтронов Марса возникает в верхнем слое его поверхности под воздействием потока Галактических космических лучей (ГКЛ). Энергетический спектр потока марсианских нейтронов зависит от концент-

рации атомов водорода в веществе поверхности, поскольку именно в столкновениях с протонами (то есть ядрами водорода) нейтроны в максимальной степени теряют свою энергию. Поэтому регистрация потоков нейтронов с орбиты позволяет оценить массовую долю воды в веществе различных районов поверхности, так как вода является основным водородосодержащим химическим соединением в веществе Марса. Прибор детектирует нейтроны с энергиями от 0.5 до 10 МэВ.

С начала XXI в. метод орбитального нейтронного картографирования успешно применяется для исследования Марса и Луны. Первый отечественный прибор ХЕНД, построенный на использовании указанного метода, с 2001 г. успешно работает на борту искусственного спутника Марса Mars Odyssey²⁰. С помощью этого прибора были построены глобальные карты распространенности воды в приповерхностном слое Марса. На этих

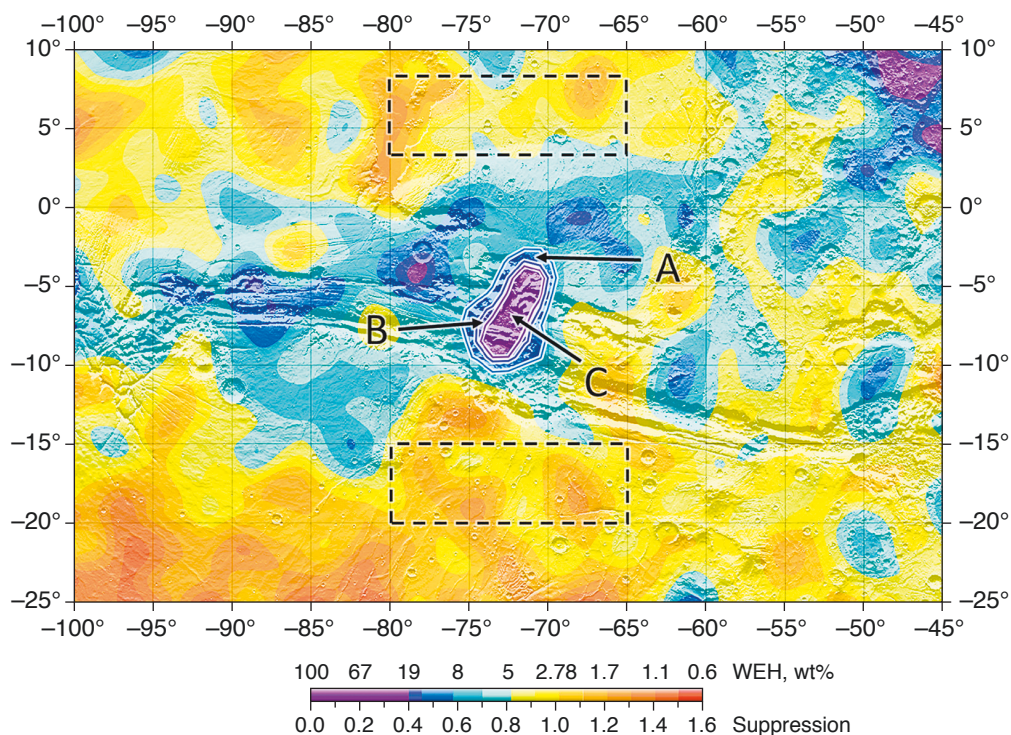


¹⁸ Родионов Д.С., Зелёный Л.М., Кораблёв О.И. Проект «ЭкзоМарс» // Земля и Вселенная, 2016, № 3. С. 3–20; Зелёный Л.М. Дорога к Марсу. В поисках воды и жизни // Земля и Вселенная. 2018. № 4. С. 3–15.

¹⁹ Mitrofanov I., Malakhov A., Bakhtin B. et al. Fine Resolution Epithermal Neutron Detector (FRIEND) Onboard the ExoMars Trace Gas Orbiter // Space Sci. Rev., 214, 86 (2018): <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0522-5>

Расположение RSL на участке каньонов Мелас и Копрат Долины Маринер, который является местом их наибольшей плотности на Марсе. NASA/JPL – Caltech/Univ. of Arizona

²⁰ Кораблёв О.И. По следам воды на Марсе // Земля и Вселенная. 2008. № 4. С. 19–28.



Карта центрального района на дне Долины Маринер. Оттенками синего цвета показано распределение воды (WEH, water equivalent hydrogen) по данным нейтронных измерений прибора ФРЕНД. ИКИ РАН

картах выше 60° с.ш. и ниже 60° ю.ш. хорошо видны области с высоким содержанием водорода, которое, вероятнее всего, указывает на присутствие льдов вечной мерзлоты с массовой долей до нескольких десятков процентов. Кроме того, отдельные области с повышенным (до 10%) содержанием воды были обнаружены и на умеренных широтах вблизи экватора, однако конструктивная особенность прибора не позволила однозначно отождествить эти области с конкретными геологическими районами на поверхности планеты, даже с такими крупными, как Долина Маринер.

В отличие от ХЕНД, в приборе ФРЕНД счетчики нейтронов помеще-

ны внутрь коллиматора нейтронов, что позволяет значительно сузить поле зрения прибора и тем самым повысить его пространственное разрешение до около 100 км. Такая повышенная «зоркость» позволила обнаружить район с размером около 102 тыс. км² с очень высоким содержанием водорода непосредственно на дне Долины. Анализ данных измерений показал, что эквивалентная массовая доля воды в веществе центральной области этого района составляет около 42%.

В центре карты с результатами прибора ФРЕНД на дне Долины Маринер показаны вариации нейтронного потока на цветной шкале (параметр Suppression, в %) и соответствующие

им оценки массовой доли воды в веществе верхнего слоя поверхности (WEH, Water Equivalent Hydrogen, в %). Показанные пунктиром прямоугольники отмечают районы на поверхности, по отношению к которым получена оценка воды на дне Долины. Буквами А, В и С отмечены изолинии для значений массовой доли воды, соответственно 7.6, 13.6 и 41.9%. Центральный район внутри контура имеет размеры около 240 км вдоль широты и около 360 км вдоль долготы. Его площадь оценивается как 41 тыс. кв. км²¹. Следует отметить, что данные нейтронных измерений, как любые измерения в экспериментальной физике, неизбежно обладают погрешностью. В данном случае возможную погрешность позволяет оценить нижний предел доли воды в веществе, который составляет в данном случае 17%. В принципе, такая массовая доля воды может быть объяснена присутствием гидратированных минералов – сложных химических соединений, в химической структуре которых присутствует большое количество молекул воды. Но для так называемой «химически связанной» воды массовая доля около двадцати процентов близка к предельной. Таким образом, данные наблюдений прибора ФРЕНД указывают на наличие на дне Долины Маринер района со значительным, от 17 до 100% количеством воды. Наиболее вероятное значение в 42% воды по массе может иметь место только в том случае, если вода на дне каньона присутствует в форме слоев водяного льда.

²¹ Mitrofanov I., Malakhov A., Djachkova M., Golovin D., Litvak M., Mokrousov M., Sanin A., Svedhem H., Zelenyi L. The evidence for unusually high hydrogen abundances in the central part of Valles Marineris on Mars // *Icarus*. Vol. 374. 2022: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114805>

ДОЛИНА МАРИНЕР – САМОЕ ПРИТЯГАТЕЛЬНОЕ МЕСТО НА МАРСЕ?

Вышеописанный результат, представленный в первый раз в 2020 г. на 51-й Конференции по лунным и планетарным наукам, проходившей в Вудлендсе (США), опубликованный в мае 2022 г.²², вызвал интерес не только у научной, но и у широкой общественности. С научной точки зрения к возможности существования ледника на дне Долины возникает много вопросов. Уникален ли найденный объект? Какой набор геоморфологических условий должен был сложиться для того, чтобы он появился? Что это за вода? Последний, наверное, самый интересный – вода в Долине, в отличие от полярных широт, может оказаться «древней» водой, замерзшей частичкой тех потоков, которые когда-то, миллиарды лет тому назад, струились по дну каньонов, застывшей частичкой времени, когда на Марсе существовали условия для возникновения жизни. Если на древнем Марсе зародилась жизнь, то признаки ее существования могли сохраниться во льдах «древней» воды на дне Долины Маринер – аналогично тому, как во льдах Антарктиды сохранились микроорганизмы с возрастом в сотни миллионов лет.

Если биохимические структуры земных и марсианских микроорганизмов окажутся схожими, то этот факт станет веским доводом в пользу гипотезы панспермии – космического происхождения жизни. Возможно, во льдах Долины никаких признаков жизни не окажется? Тогда тайна существования земной жизни станет еще более интригующей – ведь древние Земля и Марс были очень похожими

²² Там же.

планетами. Почему же только Земле довелось стать колыбелью жизни?

Кроме этого, Долина Маринер может быть потенциально интересным районом сейсмической активности²³. Это подтверждают и некоторые экспериментальные данные – эпицентр одного из марсотрясений, зарегистрированных сейсмометром американской АМС InSight (совершила посадку на Марс 26 ноября 2018 г.), находился рядом с западной оконечностью Долины Маринер²⁴. Сейсмическая активность может быть признаком присутствия под поверхностью Долины термального источника. В этом случае возникает свобода для спекуляций о присутствии в Долине под толстым слоем льда подземного озера жидкой воды. Тогда можно говорить не только о ледяном холодильнике с останками древних микроорганизмов, но и о природном инкубаторе с живыми существами – опять же, в подледном озере Восток на Антарктиде такие существа были обнаружены²⁵.

Не менее интересны и возможные практические последствия присутствия ледника в Долине Маринер. Благодаря наличию значительного резервуара воды, каньон окажется очень перспективным местом для размещения будущей Марсианской базы. Казалось бы, чего проще – возводить антира-

диационные укрытия не надо – шахты в стенках каньона надежно укроют от радиации. Достаточно поднять голову – и вся геология Марса в наглядной доступности. Вода, основной жизненный ресурс – здесь, рядом, и в значительном количестве.

Конечно, переселенческий энтузиазм несколько остывает при попытке представить себе стену высотой в 10 км: в Долину Маринер же надо как-то попасть. Кстати, коллеги из NASA провели первые испытания марсианского вертолета²⁶, и трудности отнюдь не делают менее притягательной Долину Маринер, ставшей еще более интересным исследовательским объектом после открытия в ней огромного резервуара воды, который вероятно окажется гигантским ледником вблизи экватора Марса.

Литература

1. *Ксанфомалити Л.В.* Марс // Солнечная система. Ред.-сост. В.Г. Сурдин. Изд. 2-е, перераб. М.: Физматлит, 2017.
2. *Малахов А.В., Митрофанов И.Г., Литвак М.Л., Санин А.Б., Головин Д.В., Дьячкова М.В., Никифоров С.Ю., Аникин А.А., Лисов Д.И., Лукьянов Н.В., Мокроусов М.И.* Оазисы» льдистой вечной мерзлоты вблизи экватора Марса: нейтронное картографирование планеты по данным прибора ФРЕНД на борту спутника TGO российско-европейского проекта «ЭкзоМарс» // Письма в Астрономический журнал. 2020. Т. 46. № 6. С. 435–450. <https://doi.org/10.31857/S0320010820060078>
3. *Малахов А.В., Митрофанов И.Г., Литвак М.Л., Санин А.Б., Головин Д.В., Дьячкова М.В., Никифоров С.Ю., Аникин А.А., Лисов Д.И., Лукьянов Н.В., Мокроусов М.И., Швецов В.Н., Тимошенко Г.Н.* Физические калибровки нейтронного телескопа ФРЕНД, установленного на борту марсианского спутника TGO // Космические исследования. 2022. Т. 60. № 1. С. 26–42. <https://doi.org/10.31857/S0023420622010095>

²³ *Gurgurewicz J., Mège D., Schmidt F. et al.* Megashears and hydrothermalism at the Martian crustal dichotomy in Valles Marineris // Commun. Earth Environ, 3, 282 (2022): <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00612-5>

²⁴ Запуск и посадка на Марс АМС «Инсайт» // Земля и Вселенная. 2018. № 5. С. 105–107; *Li J., Beghein C., McLennan S.M. et al.* Constraints on the martian crust away from the InSight landing site // Nat. Commun., 13, 7950 (2022): <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35662-y>

²⁵ *Булат С.А.* Микробиология озера Восток в Антарктике: результаты исследований // Земля и Вселенная. 2017. № 2. С. 17–27.

²⁶ <https://mars.nasa.gov/technology/helicopter/#>

ЭКСПЕРИМЕНТ ДАН: ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ ДЛЯ НЕЙТРОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА



МИТРОФАНОВ Игорь Георгиевич,
доктор физико-математических наук

ДЬЯЧКОВА Майя Викторовна

КАЛАШНИКОВ Денис Вадимович

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394823030039

«ЛЮБОПЫТСТВО» НА ДНЕ МАРСИАНСКОГО КРАТЕРА ГЕЙЛ

5 августа 2012 г. в 22 ч 32 мин UTC (6 августа в 9 ч 32 мин по московскому времени) американский марсоход третьего поколения «Кьюриосити» совершил посадку на Марсе в точке с координатами 4.5° ю.ш. и 137.4° в.д. около Равнины Эолида (Aeolis Palus) у подножия горы Эолида высотой 5.5 км внутри кратера Гейл¹. Марсоход был запущен

¹ Запуск марсохода «Кьюриосити» // Земля и Вселенная. 2012. № 3. С. 110–112; Лисов И.А. Curiosity летит к Марсу // Новости космонавтики. 2012. № 1 (348). С. 50–55; Лисов И.А. Curiosity на Марсе // Новости космонавтики. 2012. № 10 (357). С. 6–15.

ЛИСОВ Денис Игоревич

ЛИТВАК Максим Леонидович,
доктор физико-математических наук

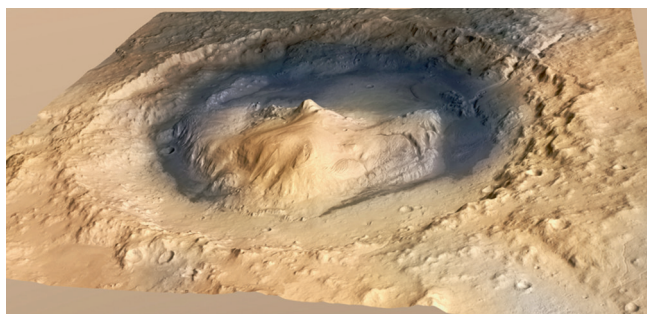
НИКИФОРОВ Сергей Юрьевич

26 ноября 2011 г. по программе NASA «Марсианская научная лаборатория» (Mars Science Laboratory (MSL)), получив свое имя в результате национального конкурса среди студентов и школьников. Отбор, проведенный среди более 9 тыс. предложений, выявил победительницу, 12-летнюю школьницу Клару Ма из Канзаса. По мнению жюри, имя «Кьюриосити» (Curiosity – любопытство) в максимальной степени соответствовало основному стимулу реализации этой миссии, которая на основе научных исследований должна ответить на вопросы, интересующие многих людей: есть ли была ли жизнь на Марсе и каковы условия для высадки там человека? В документах NASA эти вопросы были сформулированы более строго:

На фото слева направо: Д.В. Калашников, С.Ю. Никифоров, М.В. Дьячкова, И.Г. Митрофанов, М.Л. Литвак, Д.И. Лисов



Марсоход «Кьюриосити» сделал этот автопортрет 23 января 2018 г. на склонах возвышающейся горы Шарпа. NASA/JPL-Caltech/MSSS



Кратер Гейл на Марсе. Изображение создано на основе данных, полученных АМС «Марс Экспресс» (ESA), «Марсианский орбитальный разведчик» и «Викинг-1» (NASA). NASA/JPL-Caltech/ESA/DLR/FU Berlin/MSSS

- определить, возникала ли когда-либо жизнь на Марсе;
- охарактеризовать климат и геологию Марса;
- начать подготовку к освоению Марса человеком.

Район посадки марсианского аппарата должен был обеспечить как соответствие инженерным ограничениям по безопасности и по удобству управления, так и оптимальное соответствие научным задачам программы. Выбор

района посадки был коллегиальным: заинтересованная научная общественность занималась этим более пяти лет. За это время число потенциальных районов-кандидатов сократилось примерно с 50 площадок до четырех, а окончательный выбор проходил между кратерами Эберсвальде и Гейл и закончился победой последнего.

Кратер Гейл диаметром 154 км и возрастом 3.5–3.8 млрд. лет был выбран по нескольким причинам: наличие признаков существования в нем древнего озера и обширного слоя осадочных пород; сложный рельеф с центральной горой, который формировался вследствие длительного процесса выветривания, обнажившего слои разного возраста и минералогического состава; присутствие среди минералов гидратированных соединений, сохранивших в своем составе молекулы воды из древнего озера.

Кратер назван в честь австралийского астронома-любителя Уолтера Гейла (1865–1945), в 1892 г. он описал оазисы (темные области) и каналы (структура рельефа в виде линий) на Марсе.

Двигаясь по современному дну кратера Гейл, марсоход должен был продвигаться сквозь древние эпохи через несколько потенциально обитаемых сред. Внутренняя гора Эолида в кратере Гейл была неофициально обозначена как гора Шарп в честь американского

планетолога Роберта Шарпа², известно-го своими исследованиями ледников и пустынь. Любопытно, что при выборе места посадки также отмечалось, что локация в кратере Гейл «...станет для широкой публики визуально захватывающей миссией»³.

ХИМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

На борту «Кьюриосити» (длина 3 м, масса 899 кг, из них 80 кг научного оборудования) установлен достаточно представительный комплекс научной аппаратуры. На мачте высотой 2.1 м установлена система двух телекамер, одна из них Mastcam (Mast Camera) выполняет съемку в цвете и видео. Изображения можно соединять вместе и создавать панорамы ландшафта вокруг марсохода. Mastcam можно использовать для изучения марсианского ландшафта и свойств грунта, наблюдения погодных явлений, поддержки операций управления марсоходом и отбора проб марсианского грунта. Вторая камера MAHLI (Mars Hand Lens Imager) установлена на турели трехсуставного манипулятора длиной 2.1 м, на котором смонтированы 5 приборов общей массой около 30 кг. MAHLI позволяет крупным планом рассмотреть поверхность, ее основное предназначение – техническая поддержка исследований геологической истории Марса, в том числе и отбора образцов для дальнейших исследований. Во время посадки

марсохода видеосъемку осуществляла еще одна камера – MARDI (Mars Descent Imager). После посадки эта камера может быть использована для наблюдения участка поверхности под носовой частью левого борта марсохода.

Приборы мониторинга окружающей среды имеют как инженерное, так и научное назначение. Метеостанция REMS (Rover Environmental Monitoring Station) на мачте марсохода измеряет атмосферное давление, температуру, влажность, силу и направление ветра и уровень ультрафиолетового излучения. Прибор MEDLI (Mars Science Laboratory Entry Descent and Landing Instrument) обеспечил измерения температуры и атмосферного давления во время спуска аппарата на поверхность Марса. Дозиметр RAD (Radiation Assessment Detector) измерял дозу космической радиации во время перелета к Марсу и количество достигающего марсианской поверхности вредного для жизни излучения Солнца и иных космических источников.

Исходя из научных задач и программы исследований, основными научными инструментами марсохода стали аналитические приборы, предназначенные для изучения состава марсианского вещества. Рентгеновский и альфа-спектрометр APXS (Alpha Particle X-Ray Spectrometer), установленный на турели манипулятора, позволяет измерять содержание видов и количества химических элементов в грунте посредством воздействия на них α -частиц и рентгеновских лучей, испускаемых радиоактивным кюрием. Приборы CheMin (Chemical and Mineralogy instrument) и SAM (Sample Analysis at Mars) требуют загрузки образцов вещества для анализа состава внутри прибора. CheMin измеряет количество и состав различных минералов. SAM состоит из трех аналитических приборов – газового хроматографа,

² Grotzinger J.P., Crisp J., Vasavada A.R. et al. Ibid. Так же см.: Fergason R.L., Christensen P.R., Golombek M.P. et al. Surface Properties of the Mars Science Laboratory Candidate Landing Sites: Characterization from Orbit and Predictions // Space Science Rev. Vol. 170. P. 739–773 (2012): <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9891-3>

³ Golombek M., Grant J., Kipp D. et al. Selection of the Mars Science Laboratory Landing Site // Space Science Rev. Vol. 170. P. 641–737 (2012): <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9916-y>

Марсоход Curiosity (Mars Science Laboratory)

Главная цель марсохода – поиск органических веществ и оценка условий для жизни на Марсе

Внутри марсохода:

- Прибор рентгенофлуоресцентного и рентгенофлуоресцентного анализа. Определяет элементный состав пород
- Прибор для поиска органических веществ

Набор инструментов дистанционного зондирования пород

Две мачтовые видеокамеры

Инструмент для изучения радиации на поверхности Марса

Метеорологический датчик

Импульсный излучатель и детектор нейтронов – для поиска воды и гидратированных минералов. Разработан в ИКИ РАН (Россия)

Подвеска Rocker Bogie – обеспечивает эффективное преодоление препятствий

Рука манипулятора

Видеокамера для съемки поверхности в процессе приземления марсохода

Цветная камера на манипуляторе

Рентгеновский спектрометр альфа-частиц. Определяет элементный состав пород

Приборы комплекса научной аппаратуры «Марсианской научной лаборатории» (MSL) на борту марсохода «Кьюриосити». РИА-Новости

масс-спектрометра и лазерного спектрометра. Этот комплекс позволяет обнаруживать в исследуемом образце ключевые элементы, необходимые для жизни (азот, фосфор, сера, кислород и углерод), измерять долю воды в веществе, определять наличие метана и оценивать изотопный состав основных элементов. Прибор ChemCam (Chemistry and Camera) представляет собой лазерную пушку, позволяющую с помощью метода спектрометрии продуктов лазерного испарения анализировать состав вещества на значительном удалении от марсохода.

Еще на этапе формирования облика миссии перед разработчиками встал вопрос о выборе районов детальных исследований марсианского вещества вдоль трассы движения марсохода. Образцы вещества для анализа приборами CheMin и SAM должны добываться бурильной установкой с глубины до ~6.5 см. Поверхность на дне кратера подвержена воздействию геологических и эрозионных процессов (перепадов температур, пылевых бурь и космического излучения), поэтому анализ ее микрорельефа может дать лишь косвенные или не дать вообще признаков наличия под поверхностью вещества с наиболее интересными для исследований свойствами. Одним из таких свойств может быть высокое содержание воды. Включение в состав комплекса научной аппаратуры марсохода прибора для зондирования верхнего слоя поверхности с целью оценки массовой доли воды представлялась разработчикам миссии крайне желательным. Эта потребность стала отправной точкой истории появления прибора ДАН в составе полезной нагрузки «Кьюриосити»⁴.

ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ НА БОРТУ «КЮРИОСИТИ»

Но где искать воду или хотя бы химические признаки, которые могли бы указать на ее присутствие? Визуальный осмотр с помощью совершенной научной оптической аппаратуры марсохода мало пригоден для поисков воды и мог вообще ничего не обнаружить – пыль, песок и обломки пород могли затруднить или вовсе сделать невозможной такую идентификацию. Предшественнику «Кьюриосити», посадочному аппарату NASA «Феникс» (Phoenix), работавшему на Марсе с 25 мая по 2 ноября 2008 г., пришлось сначала прокопать борозду ковшом своего манипулятора, чтоб под слоем пыли обнаружить слой льда. Разумеется, КПД такого поиска для аппарата, который специально был сделан мобильным для обеспечения как можно большего района исследований, являлся неприемлемым.

«Кьюриосити» был «...нужен инструмент для дистанционного зондирования неглубоких недр вдоль пути марсохода, который позволит обнаруживать увеличение количества гидратированных минералов, или поглощенную воду (или даже водяной лед), или признаки гидратированного химического состава под верхним слоем на поверхности»⁵. Таким инструментом мог бы стать активный нейтронный спектрометр, имеющий в своем составе нейтронный генератор.

Известно, что тяжелые нейтральные элементарные частицы – нейтроны – в веществе имеют высокую проникающую способность. У них нет электрического заряда, и поэтому далеко-

⁴ Прибор ДАН // Земля и Вселенная, 2012, № 3. С. 111–112; «ДАН оправдывает наши ожидания» (интервью И.Г. Митрофанова) // Новости космонавтики. 2012. № 10 (357). С. 16.

⁵ Mitrofanov I.G., Litvak M.L., Varenikov A.B. et al. Dynamic Albedo of Neutrons (DAN) Experiment Onboard NASA's Mars Science Laboratory // Space Science Rev. Vol. 170. P. 559–582 (2012); <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9924-y>



Песчаные дюны на снимке, сделанном марсоходом «Кьюриосити» 25 сентября 2015 г.
NASA/JPL-Caltech/MSSS

действующие кулоновские силы взаимодействия с ядрами не препятствуют их движению в веществе. Нейтроны, испущенные генератором на поверхности Марса, взаимодействуют с веществом только вследствие прямых столкновений с ядрами: они могут удариться об ядро и отскочить, могут при ударе отскочить с генерацией ядром гамма-лучей, и они могут ядром поглотиться. Иногда удар оказывается настолько сильным, что ядро раскалывается на легкие фрагменты и новые нейтроны. Часть нейтронов после многократных отскоков вылетит на поверхность, где их смогут зарегистрировать нейтронные детекторы. Поток вылетающих частиц после взаимодействия с веществом поменяет свой энергетический спектр – измеряя его энергетическое распределение и поток сопутствующих гамма-лучей, можно определить ядерный состав марсианского вещества. Особенно сильно проявляется присутствие в веществе атомов водорода. Ядра атомов водорода, т. е. протоны, представляют собой электрически заряженные элементарные частицы. Протоны и нейтроны обладают схожими физическими характеристиками. Но протон, в отличие от электрически нейтрального нейтрона, обладает электрическим зарядом.

Массы нейтронов и протонов практически равны, поэтому при столкновениях нейтроны передают ядрам водорода значительную часть своей энергии. Вследствие этого нейтроны, выходящие с поверхности вещества с присутствием водорода, проявляют значительную потерю своей энергии относительно исходной величины. Ядерно-физические расчеты позволяют связать степень замедления вылетающих с поверхности нейтронов с массовым содержанием водорода в веществе.

На использовании данного эффекта основан метод нейтронного каротажа в геологоразведке. Облучение породы скважины нейтронами высоких энергий и регистрация вторичного потока нейтронного альбеда позволяют оценить массовую долю в породе водородосодержащих соединений (нефти, природного газа и др.). Для практического применения были специально разработаны промышленные нейтронные генераторы, которые продемонстрировали высокую чувствительность и надежность в полевых условиях.

При обсуждении вопроса о гидрологическом зондировании поверхности с борта марсохода научный руководитель программы марсианских исследований NASA доктор Джим Гарвин предложил применить метод активного нейтронного каротажа – ведь вода

также является водородосодержащим химическим соединением. При изучении вопроса о доступности такой аппаратуры для космического применения оказалось, что наиболее подходящими разработками располагает Россия. Было решено пригласить российских ученых, занимающихся ядерно-физическими исследованиями планет, к участию в проекте «Марсианская научная лаборатория». Российская академия наук и Роскосмос поддержали эту инициативу, основываясь на российско-американском соглашении о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства 1992 г. Так в 2006 г. было принято решение о разработке в ИКИ РАН прибора ДАН (Динамическое альbedo нейтронов) для этого марсохода.

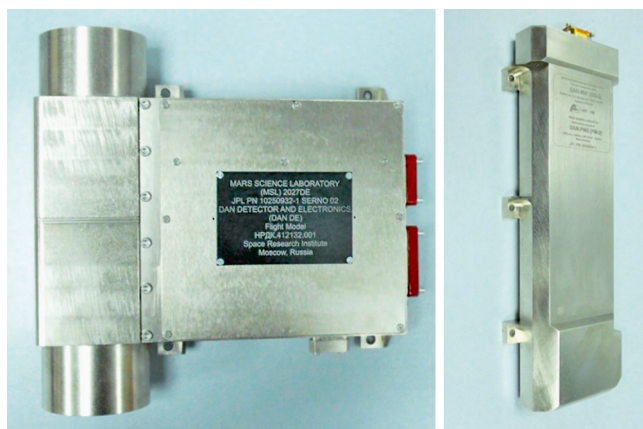
РОССИЙСКИЙ ПРИБОР ДАН

ДАН – это первый прибор в космосе, в котором для изучения другого планетного тела применен метод активного нейтронного каротажа⁶. Он состоит из двух блоков: импульсного нейтронного генератора (ИНГ) и детекторов и электроники (ДЭ). Прибор ДАН следует считать ядерным изделием в самой максимальной степени: оба его блока работают благодаря реакциям термоядерного синтеза.

В нейтронном генераторе происходит классическая реакция слияния ядер дейтерия и трития

${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{n}$, в результате которой образуются ядра гелия (α -частицы) и нейтроны с выделением энергии около 17.6 МэВ. Эта энергия разделяется между произведенными частицами обратно пропорционально их массам: 14.1 МэВ приобретает нейтрон и 3.5 МэВ – α -частица. Нейтроны производятся короткими импульсами длительностью около 2–3 микросекунд и частотой до 10 Гц. Реакция происходит внутри вакуумной трубки, представляющей собой небольшой электростатический ускоритель ионов дейтерия в электрическом поле с потенциалом около 120 кВ. Испущенные нейтроны с энергией 14.1 МэВ способны проникать в подповерхностный слой марсианского грунта на глубину до 1 м. Блок ИНГ прибора ДАН массой 2.6 кг был разработан для работы в космосе по заказу ИКИ РАН во Всероссийском институте автоматики им. Н.Л. Духова госкорпорации «Росатом» на основе промышленного прототипа ИНГ-101.

Часть нейтронов от ИНГ поглощается в грунте, а часть замедляется и



⁶ Mitrofanov I.G., Litvak M.L., Varenikov A.B., Barmakov Y.N., Behar A., Bobrovniksky Y.I. et al. (2012), Dynamic Albedo of Neutrons (DAN) experiment onboard NASA's Mars Science Laboratory // Space Science Rev. Vol. 170. P. 559–582: <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9924-y>

Блоки российского научного прибора ДАН: детекторов и электроники (ДЭ) и импульсного нейтронного генератора (ИНГ). ИКИ РАН

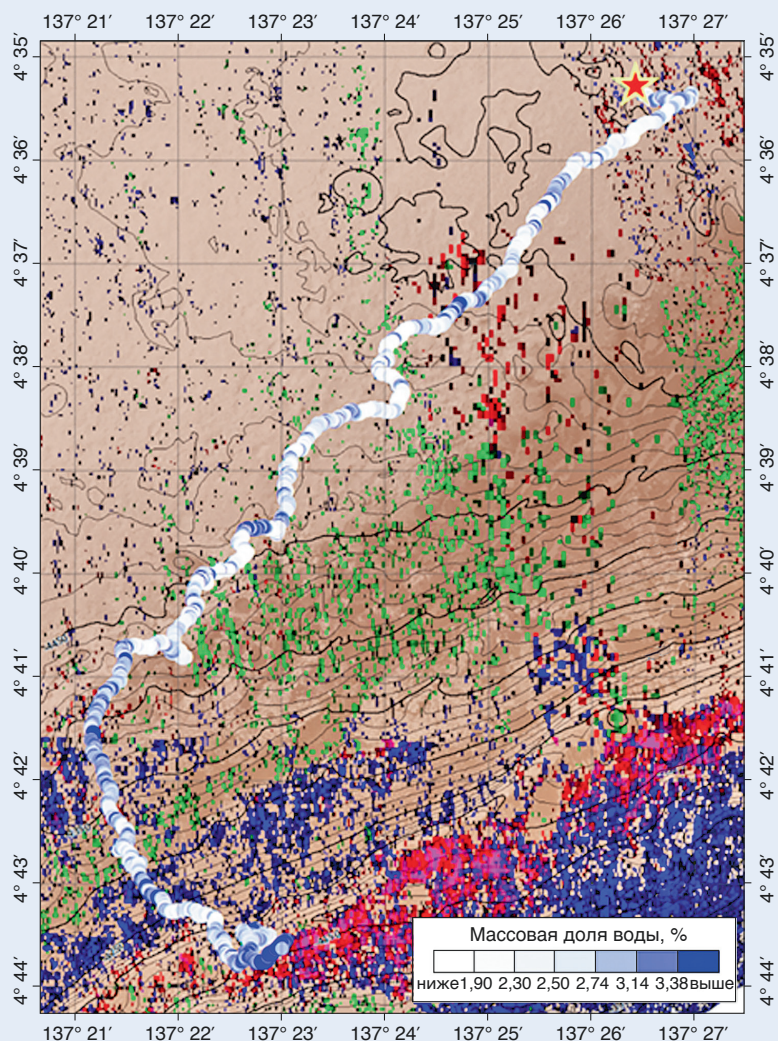
выходит обратно на поверхность, где регистрируется газонаполненными детекторами эпитепловых (надтепловых) и тепловых нейтронов блока ДЭ. Процесс регистрации происходит благодаря другой термоядерной реакции нейтронного захвата. Нейтронные детекторы содержат одинаковые пропорциональные счетчики, наполнены газом изотопа гелия ^3He с давлением 3 атм. При столкновении нейтрона с ядром ^3He происходит термоядерная реакция его захвата $n + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + p$ с образованием двух заряженных частиц, тритона (ядро радиоактивного изотопа водорода трития) и протона, и с выделением энергии 0.765 МэВ, которая делится между протоном и тритоном как 0.574 и 0.191 МэВ соответственно. Таким образом, вторая термоядерная реакция в счетчиках прибора ДАН обеспечивает регистрацию выходящих из вещества нейтронов (динамического альbedo нейтронов) после его облучения короткими импульсами энергичных нейтронов от генератора.

Счетчики имеют диаметр 5.1 см и длину 6.5 см с активной зоной длиной ~4 см. Один счетчик эпитепловых нейтронов покрыт оболочкой из кадмия толщиной 1 мм, который является сильным поглотителем нейтронов с энергией ниже ~0.4 эВ и не пропускает эти частицы для фиксации. Этот счетчик регистрирует только нейтроны с энергиями выше указанного значения. Другой счетчик покрыт аналогичной оболочкой, но из свинца, которая пропускает все замедлившиеся частицы, включая те, которых замедлились до тепловых энергий. Очевидно, что разность отсчетов детекторов со свинцовой и кадмиевой оболочками соответствует отсчетам для нейтронов с энергиями ниже так называемого «кадмиевого порога» – эти отсчеты можно условно приписать регистрациям тепловых частиц.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙТРОННОГО АЛЬБЕДО

Динамическое нейтронное альbedo после выполнения импульсов сканирования марсианской поверхности имеет затухающий временной профиль с характерной длительностью от 100 до 300 мкс для эпитепловых нейтронов и 1–3 мсек для тепловых нейтронов. Амплитуды и продолжительности этих профилей зависят от количества в веществе легких ядер водорода. Активное нейтронное зондирование в данной точке поверхности обеспечивается генератором, испускающим импульсы с частотой 10 Гц, и должно продолжаться несколько десятков минут. За это время в приборе накапливаются профили динамического альbedo с достаточной статистикой отсчетов для дальнейшего анализа. Результатом измерений прибора ДАН являются два профиля отсчетов от после-импульсного динамического альbedo нейтронов, которые предваряют и завершают гладкое плато от отсчетов стационарного нейтронного альbedo, определяющего фон в точке измерений. Локальный нейтронный фон возникает вследствие облучения верхнего слоя вещества поверхности потоком тяжелых заряженных частиц галактических космических лучей (ГКЛ) и также вследствие собственного излучения радиоизотопного источника энергии на борту марсохода. Стационарное альbedo от локального фона, также как динамическое нейтронное альbedo от импульсов генератора, зависит от массовой доли воды и от концентрации атомов-поглотителей нейтронов.

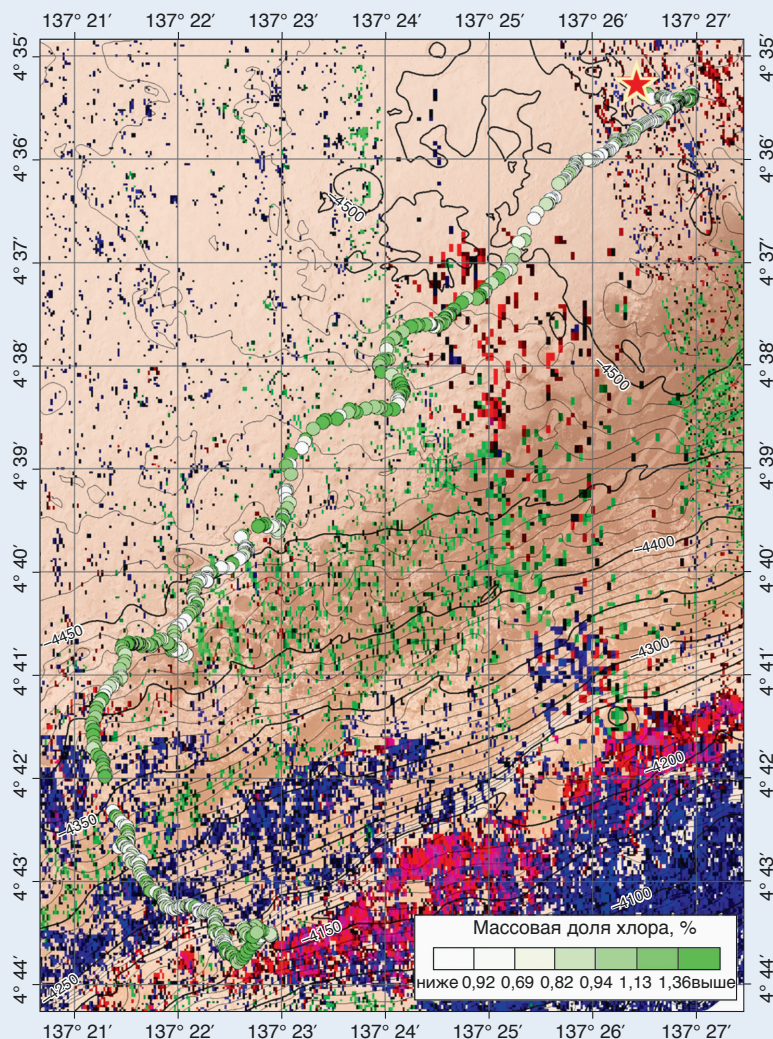
Экспериментальная ядерная физика, как правило, не позволяет непосредственно наблюдать изучаемое явление (пожалуй, единственным исключением является камеры для регистрации



Трасса движения марсохода «Кьюриосити» от места посадки до отметки в 20 км, покрытой пикселями поверхности с оттенками синего цвета, соответствующими оценкам массовой доли воды. На фоне рельефа дна кратера цветными вкраплениями показаны области распространения гидратированных минералов на поверхности по данным спектрометра CRISM, установленного на борту АМС «Марсианский орбитальный разведчик». Красный и ярко-розовый цвета соответствует филлосиликатам, зеленый – моногидратированным сульфатам, синий – полигидратированным сульфатам. Горизонталы проведены через каждые 10 м. ИКИ РАН

треков от заряженных частиц). Для того, чтобы на основе данных активных измерений получить оценку массовой доли воды в веществе, необходимо провести сопоставление измерен-

ных профилей с их теоретическими аналогами, построенными на основе сквозного численного моделирования процесса зондирования. В этом моделировании учитываются все процессы



Трасса движения марсохода «Кьюриосити» от места посадки до отметки 20 км, покрытой пикселями поверхности с оттенками зеленого цвета, соответствующими оценкам массовой доли эквивалентного хлора.
ИКИ РАН

взаимодействия нейтронов с веществом, состав которого задается исходя из известных данных других предшествовавших исследований. Переменной частью модели вещества являются концентрация водорода (представленная как массовая доля воды) и доля элементов, которые обладают большими сечениями поглощения нейтронов.

Основным поглощающим элементом в грунте Марса является хлор, поэтому полный вклад в поглощение нейтронов всеми элементами описывается параметром «эквивалентного хлора». Оценки содержания в веществе воды и элементов-поглотителей нейтронов основаны на условии наилучшего согласия между измеренными экспери-

ментальными и предсказанными теоретическими профилями нейтронного после-импульсного альбеда. Практический опыт применения метода нейтронного каротажа в геологии показал, что полученные таким образом оценки водородосодержащих и нейтронно-поглощающих веществ являются достаточно достоверными.

Следует отметить, что аппаратура ДАН позволяет получить данные о массовой доле воды в веществе непосредственно под марсоходом не только в режиме активного зондирования во время стоянок, но также в режиме мониторинга локального нейтронного фона во время движения, когда генерации импульсов не происходит. Изменения локального фона в разных точках на поверхности свидетельствуют о вариациях состава вещества, однако такие изменения также могут быть вызваны переменностью потока галактических космических лучей⁷ и изменением расстояния между детекторами и поверхностью. Для исключения указанных внешних факторов в качестве наблюдаемой величины следует использовать отношение темпов счета в счетчиках тепловых и эпитепловых нейтронов – очевидно, что эта величина не зависит от указанных внешних условий.

Специалисты ИКИ РАН разработали методику совместной обработки данных нейтронного зондирования поверхности с применением генератора, которая позволяла измерять массовые доли воды и эквивалентного хлора в районе стоянок, и данных мониторинга нейтронного излучения поверхности во время движения марсохода, на основе которых проводилась оценка массо-

вой доли воды вдоль трассы между его стоянками⁸.

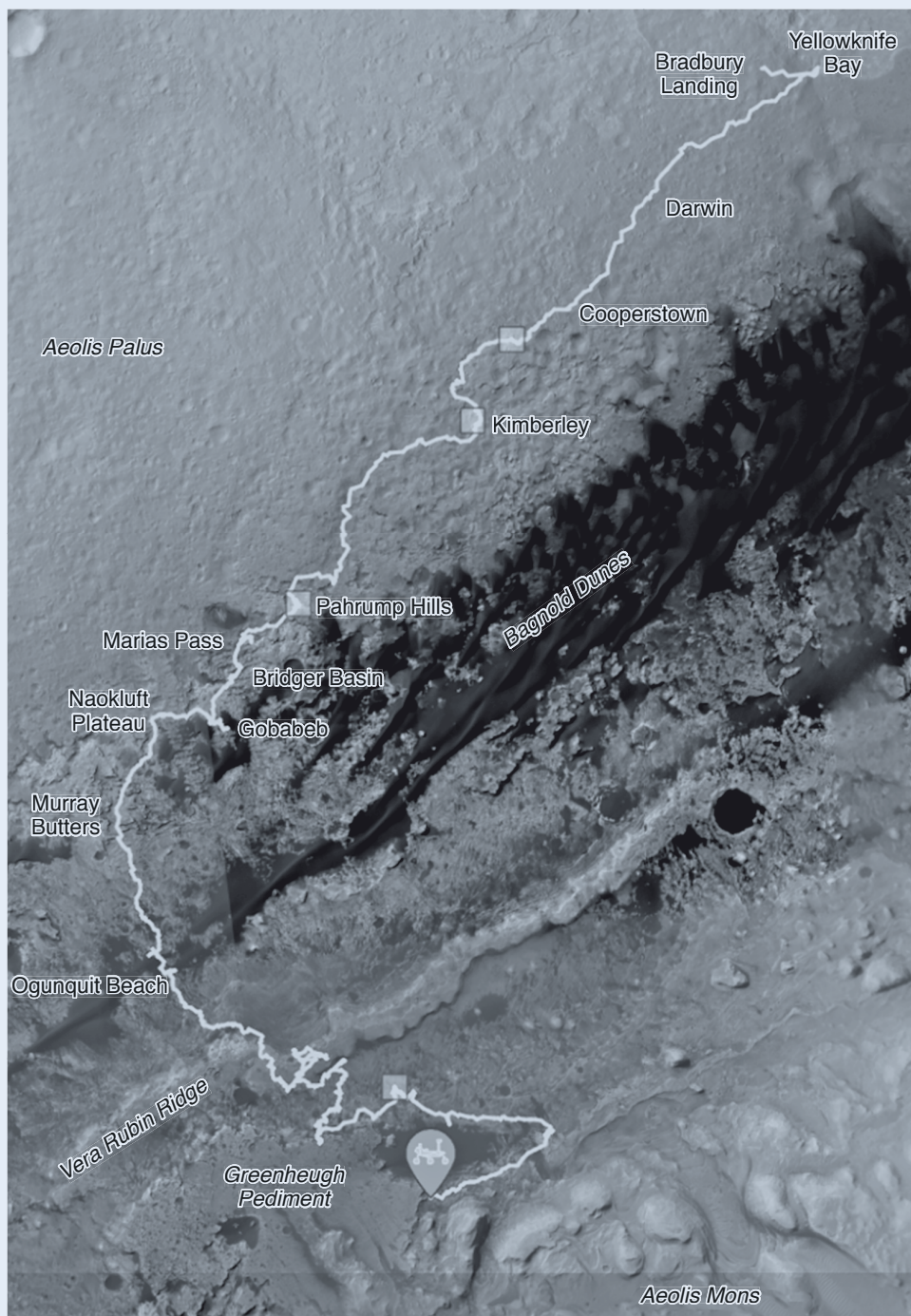
После изложенных выше технических характеристик, описания, принципов и методики измерения с помощью российского прибора ДАН, установленного на борту «Кьюриосити», остается добавить, что с 2012 г. он вместе с остальным комплексом научной аппаратуры успешно работает на поверхности Марса, причем его ресурс многократно превысил расчетный срок. Изначально у блока ДАН ИНГ были ограничения по ресурсам и времени: гарантировалось, что он излучит 10 млн нейтронных импульсов, и его срок службы ограничен тремя земными годами из-за износа нейтронной трубки. Тем не менее на данный момент блок ДАН ИНГ уже излучил более 16 млн нейтронных импульсов и продолжает работать.

К маю 2023 г. было проведено 1570 активных измерений в 763 районах стоянок марсохода вдоль пройденной трассы протяженностью 30 135 м. Вся трасса в районах стоянок и между ними была покрыта дискретными элементарными площадками (пикселями) с размером 3 × 3 м. Для каждого пикселя вдоль трассы представлены оценки массовой доли воды, а для пикселей на стоянках также приведена массовая доля эквивалентного хлора. Эти данные опубликованы в виде каталога эксперимента ДАН⁹ и он активно исполь-

⁷ Панасюк М.И. Тяжелые ядра космической радиации и планирование космических миссий // Земля и Вселенная. 2019. № 2. С. 4–14; № 3. С. 5–19.

⁸ Nikiforov S.Y., Mitrofanov I.G., Litvak M.L., Lisov D.I., Djachkova M.V., Jun I., Tate C., Sanin A.B. (2020), Assessment of water content in martian subsurface along the traverse of the Curiosity rover based on passive measurements of the DAN instrument // Icarus, 346, 113818.

⁹ Mitrofanov I.G., Nikiforov S.Y., Djachkova V.V., Lisov D.I., Litvak M.L., Sanin A.B., Vasavada A.R. (2023), Water and chlorine in the Martian subsurface along the traverse of NASA's Curiosity rover, Part I: DAN measurement profiles along the traverse, J. Geophys. Res. Planets (<https://doi.org/10.1029/2022JE007327>).



Карта трассы движения марсохода «Кьюриосити» с августа 2012 г. до января 2023 г., на 3672-й день проведения исследований на Марсе (пройденное расстояние – 29.17 км). Слева находится Равнины Эолида, справа – песчаные дюны Bagnold, внизу слева – хребет Веры Рубин, внизу справа – гора Шарпа. Север вверху. NASA/JPL-Caltech/MSSS

зуется учеными – участниками проекта для анализа и интерпретации проводимых научных исследований.

НОВЫЕ ЗНАНИЯ О МАРСЕ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ДАН

Основные результаты исследований прибором ДАН на борту марсохода «Кьюриосити» наиболее наглядно можно представить в виде последовательностей пикселей вдоль трассы движения, окрашенных синим и зеленым цветом разной интенсивности, соответствующей массовой доле воды и эквивалентного хлора.

Двигаясь вдоль трассы, можно обнаружить районы с минимальным и максимальным содержанием воды или эквивалентного хлора. Так, минимальное значение массовой доли воды (около нуля) было измерено на отметке 10 203 м вдоль трассы и составило 0.4%. Эта отметка соответствует участку пути от района холмов Pahrump Hills до района Logan Pass¹⁰ через локальную «песчаную пустыню». Пески обычно представляют собой тип поверхности с наименьшим содержанием воды. Максимальное значение массовой доли воды $6.34 \pm 0.68\%$ было измерено на отметке 18 417 м участка пути марсохода. Эта отметка соответствует области хребта Веры Рубин (Vera Rubin Ridge, VRR), неофициально названного так в честь выдающегося американского астронома Веры Рубин (1928–2016), результаты исследований которой, относящиеся прежде всего к изучению скорости вращения галактик, считаются в том числе

одним из доказательств существования темной материи.

Интересно, что по существующим представлениям¹¹, эта область не должна быть сильно увлажненной, однако полученные ДАН данные хорошо коррелируют с данными спектрометра CRISM, установленного на борту искусственного спутника Марса «Марсианский орбитальный разведчик» (Mars Reconnaissance Orbiter, сокр. MRO; США), работающего с 10 марта 2006 г. Указанный спектрометр ведет съемку в видимом и ближнем ИК-диапазоне (длина волны 362–3920 нм). Входящие в состав минералов, формирующих поверхность Марса, железо, оксиды, карбонаты и т. д. имеют характерные признаки в видимом и ИК-диапазоне и распознаются им достаточно точно.

Затем было предложено провести сравнение с данными CRISM результатов пассивных измерений ДАН¹². В качестве источника данных были рассмотрены спектральные изображения, специально подготовленные командой CRISM для картографирования места посадки марсохода «Кьюриосити». Для создания изображений были отобраны данные с высоким пространственным разрешением около 20 м, не содержащие повышенного уровня шума и непрозрачности атмосферы. Высокое значение каждого параметра, нанесенно-

¹¹ Fraeman A.A., Ehlmann B.L., Arvidson R.E., Edwards C.S., Grotzinger, J.P., Milliken R.E., Quinn D.P., Rice M.S. (2016) The stratigraphy and evolution of lower Mount Sharp from spectral, morphological, and thermophysical orbital data sets, *J. Geophys. Res. Planets*, 121, 1713–1736, doi:10.1002/2016JE005095

¹² Djachkova M.V., Mitrofanov I.G., Nikiforov S.Y., Lisov D.I., Litvak M.L., Sanin A.B. (2022) Testing Correspondence between Areas with Hydrated Minerals, as Observed by CRISM/MRO, and Spots of Enhanced Subsurface Water Content, as Found by DAN along the Traverse of Curiosity. *Advances in Astronomy*. id. 6672456: <https://doi.org/10.1155/2022/6672456>

¹⁰ Здесь и далее в качестве названий районов используются условные обозначения участков и объектов поверхности Марса вдоль трассы движения марсохода «Кьюриосити», используемые его научной командой.

го на карту поверхности в окрестности кратера Гейл, указывает на относительно сильную спектральную особенность и соответственно на повышенное содержание данного типа минерала в данном месте. И наоборот, низкое значение указывает на относительно слабую особенность или ее отсутствие, а значит и на отсутствие данного минерала.

Для каждой группы минералов (филлосиликаты, моно- и полигидратированные сульфаты) отобрали участки трассы марсохода, которые прошли через области их повышенного содержания. Для участков трассы, соответствующих каждой группе минералов, было построено распределение значений массовой доли воды по данным прибора ДАН. Также по измерениям этого прибора было построено «реперное распределение» значений воды, соответствующее оценкам для всех участков пути, где не было обнаружено никаких минералов.

Тест на наличие корреляции между повышенным содержанием на поверхности грунта отдельного минерала и повышенной или пониженной массовой долей воды в верхнем слое грунта проводился на основе прямого сравнения двух распределений для значений воды: тестируемого, соответствующего участкам трассы для областей с повышенным содержанием данной группы минералов, и реперного.

Статистически значимый эффект корреляции между содержанием воды в грунте и минералов на марсианской поверхности обнаружен для полигидратированных сульфатов. В этом случае распределение значений воды для участков их повышенного содержания существенно отличается от реперного распределения. В районах на дне кратера Гейл в приповерхностном слое грунта толщиной около 1 м, где присутствуют полигидратированные сульфаты, наблюдается увеличение массовой доли воды до значений около

среднего значения 2.86% при том, что в других районах среднее значение составляет 2.60%.

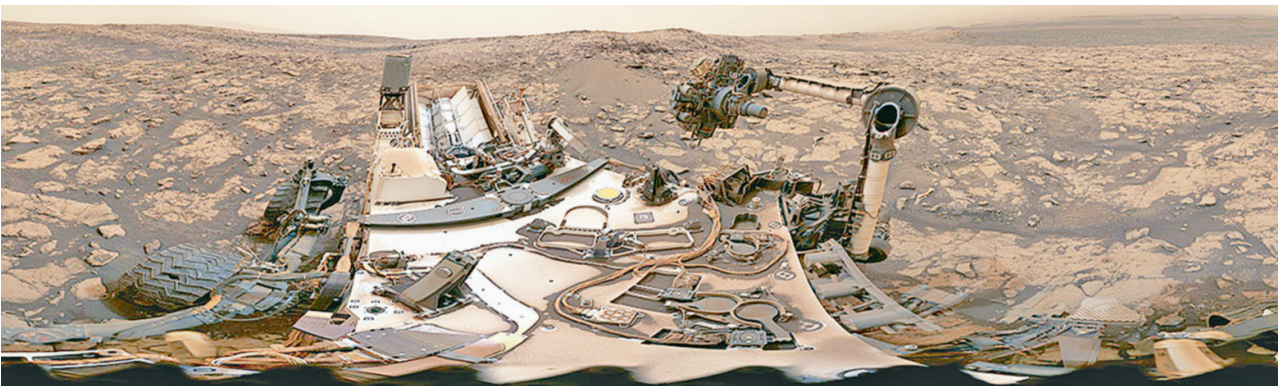
Значительная толщина слоя осадочных пород, содержащего полигидратированные сульфаты, предполагает длительные процессы испарения воды. Этот результат подтверждает гипотезу о присутствии жидкой воды на поверхности Марса в течение ранних эпох его геологической истории и позволяет проследить особенности формирования и эволюции поверхности кратера Гейл на всем протяжении его существования¹³.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРАТЕРА ГЕЙЛ

Как уже отмечалось, дно кратера Гейл представляет собой сложную геологическую структуру слоистых отложений, совокупность которых позволяет проследить значительный период глобальной эволюции планеты Марс. Структура геоморфологических типов вещества исследована на разной глубине на дне кратера вдоль трассы марсохода от точки посадки до отметки 3920 м¹⁴. Основные геологические группы и формации

¹³ Дьячкова М.В., Никифоров С.Ю., Лисов Д.И., Митрофанов И.Г., Литвак М.Л., Санин А.Б. Сопоставление данных эксперимента ДАН о распространённости воды в грунте кратера Гейл вдоль трассы марсохода Curiosity с данными эксперимента CRISM на борту марсианского спутника MRO // XVI конференция молодых ученых. Фундаментальные и прикладные космические исследования 15–17 апреля 2019 г., ИКИ РАН. Сборник трудов / Под ред. А.М. Садовского. М., 2019. С. 24–33. DOI: 10.21046/KMU-2019-24-33

¹⁴ Mitrofanov I.G., Nikiforov S.Y., Djachkova V.V., Lisov D.I., Litvak M.L., Sanin A.B., Vasavada A.R. (2023) Water and chlorine in the Martian subsurface along the traverse of NASA's Curiosity rover. Part I: DAN measurement profiles along the traverse // J. Geophys. Res. Planets (<https://doi.org/10.1029/2022JE007327>).



Панорама местности на хребте Веры Рубин на Марсе, сделанная марсоходом «Кьюриосити» 6 сентября 2018 г. NASA/JPL-Caltech/MSSS

слоистых отложений разделены на отдельные геоморфологические типы поверхности, которые можно соотнести с конкретным этапом последовательной эволюции поверхности на дне кратера с определенными условиями формирования.

Сплошное покрытие трассы данными измерений прибора ДАН позволяет построить функции распределения массовой доли воды для каждого отдельного геоморфологического типа поверхности.

Когда готовилась данная статья, научная группа проекта завершила геоморфологический анализ в районе Pontours, глубиной около 4 км, который расположен ближе всего к центру кратера. В отдельную группу выделен особый геоморфологический тип поверхности Sand. В отличие от остальных представленных на рисунке объектов, он не локализован в определенном районе, а объединяет все покрытые песчаными дюнами участки вдоль трассы движения марсохода. Именно эти участки поверхности и оказались наиболее сухими.

Известно, что песчаные дюны формируются под влиянием пылевых бурь, и поэтому их следует отнести к самому молодому геоморфологическому типу

вещества на дне кратера Гейл. Минимальное содержание воды в веществе современных дюн означает, что в настоящее время адсорбция веществом поверхности молекул воды из атмосферы Марса имеет минимальную эффективность по сравнению с прошлыми эпохами.

Геоморфологическим районом, который характеризуется наиболее высокими средними оценками содержания воды вдоль трассы до отметки 27 км, является холм Knockfarrill Hill. Массовая доля воды в этом районе достигает до 4 %. Особенностью этого района является изменение процесса формирования его вещества в период резкого изменения климата от влажного к сухому¹⁵. Уровень наполнявшего кратер озера понизился, а территория речной равнины увеличилась. Установлено, что в этом районе вещество поверхности содержит до 34% глинистых минералов, которые обычно содержат высокий процент химически связанных молекул воды.

¹⁵ Fedo C.M., Bryk A.B., Edgar L.A. et al. Geology and Stratigraphic Correlation of the Murray and Carolyn Shoemaker Formations Across the Glen Torridon Region, Gale Crater, Mars, J. Geophys. Res. Planets, 2022. 127(9). DOI: 10.1029/2022JE007408

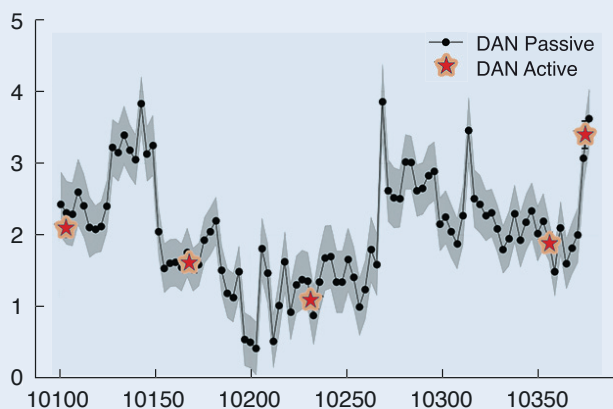
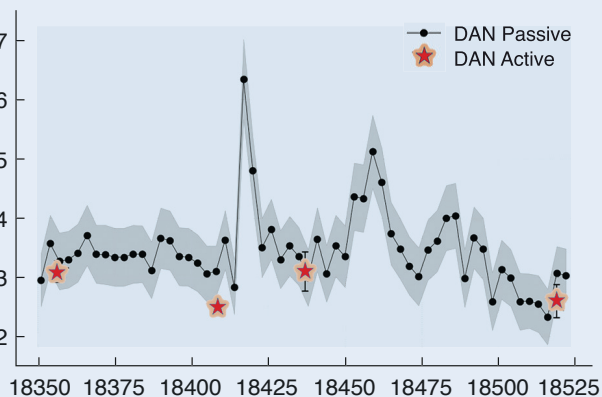


График измерений прибора ДАН на участке 10 100–14 000 м трассы движения марсохода «Кьюриосити». Вертикальная шкала соответствует массовой доле обнаруженной воды в процентах, горизонтальная шкала – пути в метрах. Звезды соответствуют районам активного зондирования грунта, черные точки – оценки согласно данным пассивных измерений. Серая полоса вдоль профиля отображает статистические погрешности измерений. ИКИ РАН

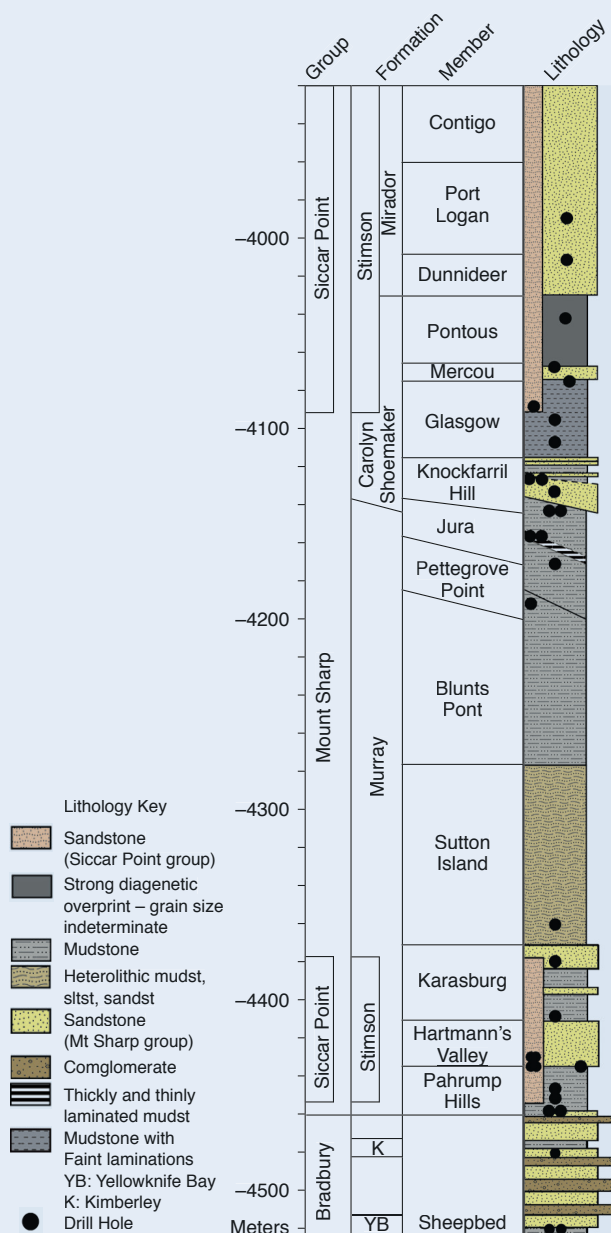
График измерений прибора ДАН на участке 18 350–18 525 м трассы движения марсохода «Кьюриосити». Вертикальная шкала соответствует массовой доле обнаруженной воды в процентах, горизонтальная шкала – пути в метрах. Звезды соответствуют районам активного зондирования грунта, черные точки – оценки согласно данным пассивных измерений. Серая полоса вдоль профиля отображает статистические погрешности измерений. ИКИ РАН



ПЕРСПЕКТИВА НЕЙТРОННОГО КАРОТАЖА НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Опыт российского эксперимента ДАН на борту марсохода «Кьюриосити» оказался достаточно успешным. Оценки методом нейтронного зондирования массовой доли воды и нейтроно-поглощающих элементов на глубине до 1 м не требуют бурения поверхности и могут выполняться вдоль всей трассы движения мобильного исследовательского

аппарата. Измерения прибором ДАН вносят значительный вклад в научные результаты исследований, они учитываются при планировании движения марсохода в кратере Гейл. Имел место случай, когда экспресс-анализ измерений показал присутствие оставшегося позади района с уникальными свойствами. Руководство проекта приняло решение развернуть марсоход и вернуться для проведения дополнительных исследований – и это решение оказалось полностью оправданным.



Слоистая структура геоморфологических типов вещества на разной глубине в кратере Гейл вдоль трассы марсохода «Кьюриосити». На вертикальной шкале слева указана глубина относительно среднего уровня поверхности Марса, правее отмечены названия районов измерений, а точками – их места. Сверху шкалы перечислено содержание вертикальных отрезков: группы, формации, названия районов измерений и осадочных пород. Цвет прямоугольников соответствует разным геоморфологическим формациям, перечисленным на врезке справа. Последовательность геологических групп, формаций и геоморфологических типов (снизу вверх) соответствует движению марсохода от точки посадки в районе Bradbury на глубине около 4500 м в направлении к центральной вершине горы Шарпа. MSL sedimentology and stratigraphy working group

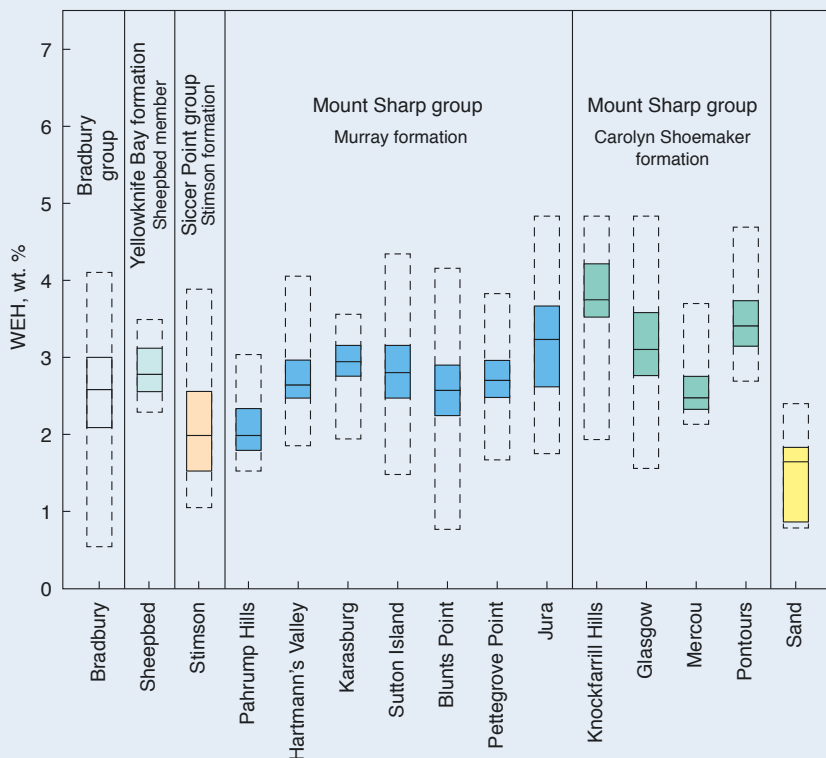


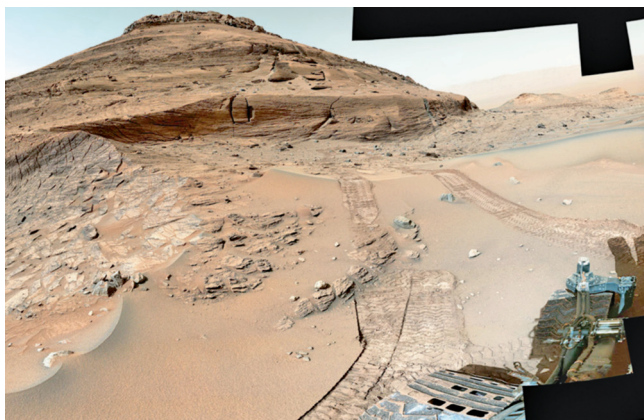
Диаграмма оценки содержания воды в грунте для различных геоморфологических типов вещества вдоль трассы движения марсохода «Кьюриосити». Показаны основные параметры функций распределения массовой доли воды в виде прямоугольников над каждым типом марсианской поверхности, отмеченным вдоль горизонтальной оси. На вертикальной оси представлены значения массовой доли воды в процентах. Горизонтальная линия в прямоугольниках определяет среднее значение для каждого типа. Верхняя и нижняя граница закрашенных прямоугольников соответствует стандартным отклонениям от среднего значения. Аналогичные границы для прямоугольников показанных пунктиром соответствуют предельным минимальным и максимальным значениям массовой доли воды, измеренной для данного типа поверхности. Последовательность геологических групп, формаций и геоморфологических типов (слева направо) соответствует движению марсохода от точки посадки в районе Bradbury на глубине около 4500 м в направлении к центральной вершине горы Шарпа. ИКИ РАН

В будущих космических экспериментах с применением метода нейтронного каротажа предполагается дополнить аппаратуру гамма-спектрометром с высоким спектральным разрешением¹⁶.

¹⁶ G., Sanin A.B., Shvetsov V.N., Timoshenko G.N., Zontikov A. Implementation of gamma-ray instrumentation for solid solar system bodies using neutron activation method // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 2016. Vol. 822. P. 112–124; Головин Д.В.,

Литвак М.Л., Митрофанов И.Г., Вострухин А.А., Дубасов П.В., Зонтиков А.О., Козырев А.С., Крылов А.Р., Крылов В.А., Мокроусов М.И., Репкин А.Н., Санин А.Б., Тимошенко Г.Н., Удовиченко К.В., Швецов В.Н. Сравнение чувствительности полупроводникового (HPGe) и сцинтилляционного (CeBr3) детекторов при измерении гамма-спектров, инициированных нейтронами в модели планетарного грунта // Письма в журнал «Физика элементарных частиц атомного ядра», 2018. Т. 18. № 5 (217). С. 409–420.

Один из последних снимков: следы марсохода «Кьюриосити» возле перевала Pariaiteru. Вид с марсохода на холм Bolívar в центре и дно кратера Гейл в правом верхнем углу. 7 апреля 2023 г. NASA/JPL-Caltech/MSSS



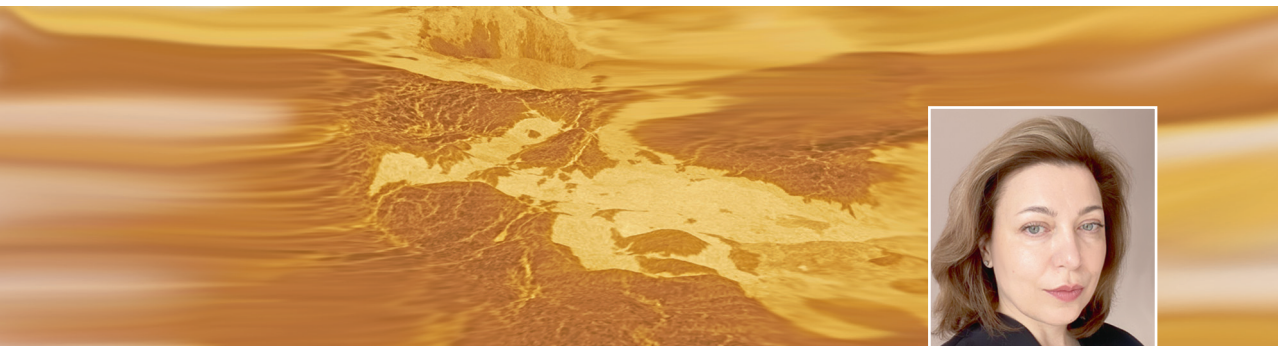
Это позволит дополнительно к измерению массовой доли воды проводить оценку состава основных породообразующих элементов вещества на основе спектрального анализа возбуждаемых нейтронами гамма-лучей. В настоящее время такие приборы разработаны для российских проектов посадочных аппаратов «Луна-25» и «Луна-27»¹⁷.

¹⁷ Митрофанов И.Г., Зелёный Л.М. Об освоении Луны. Планы и ближайшие перспективы // Земля и Вселенная. 2019. № 4. С. 16–35; Литвак М.Л., Головин Д.В., Колесников А.Б., Вострухин А.А., Дьячкова М.В., Козырев А.С., Митрофанов И.Г., Мокроусов М.И., Санин А.Б. Наземные измерения с активным гамма- и нейтронным спектрометром «АДРОН», предназначенным для лунных и марсианских посадочных миссий // Астрономический вестник. 2017. Т. 51. № 3. С. 189–203; Головин Д.В., Мокроусов М.И., Митрофанов И.Г., Козырев А.С., Литвак М.Л., Малахов А.В., Никифоров С.Ю., Санин А.Б., Бармаков Ю.Н., Боголюбов Е.П., Шоленинов С.Э., Юрков Д.И. Прибор АДРОН-ЛР для активного нейтронного зондирования состава лунного вещества // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2021. Т. 55. № 6. С. 542–549; Mokrousov M.I., Golovin D.V., Mitrofanov I.G., Anikin A.A., Kozыrev A.S., Litvak M.L., Malakhov A.V., Nikiforov S.Y., Pekov A.N., Sanin A.B., Tret'yakov V.I. ADRON: Active Spectrometer of Neutron and Gamma Radiation of the Moon and Mars, Physics of Particles and Nuclei Letters, 2022. Vol. 19. Issue 6. P. 744–764.

Особо следует отметить перспективный эксперимент на основе нейтронного каротажа для научного проекта «Венера-Д» для длительных исследований венерианской поверхности¹⁸. Особенностью исследований поверхности Венеры является давление около 93 атм. и температура около 500 °С, поэтому время работы приборов не может превышать нескольких десятков минут, причем аппаратура должна быть установлена внутри гермоотсека. Активный нейтронный и гамма-спектрометр с применением метода нейтронного каротажа является единственным прибором, который сможет предоставить данные о составе поверхности Венеры в таких экстремальных условиях. Такой прибор в настоящее время находится на этапе разработки.

¹⁸ Засова Л.В. Венера: научные проблемы, перспективы исследований // Земля и Вселенная. 2015. № 1. С. 12–29; Jun I.; Kim W.; Smith M.; Mitrofanov I.; Litvak M. A study of Venus surface elemental composition from 14 MeV neutron induced gamma ray spectroscopy: Activation analysis // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. 2011. Vol. 629. Issue 1. P. 140–144; Litvak M.L.; Sanin A.B.; Golovin D.V.; Jun I.; Mitrofanov I.G.; Shvetsov V.N.; Timoshenko G.N.; Vostukhin A.A. Ground tests with prototype of CeBr3 active gamma ray spectrometer proposed for future Venus surface missions // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research. A. 2017. Vol. 848. P. 9–18.

ЖИЗНЬ НА ВЕНЕРЕ



ГОВОРОВА Анна Феликсовна,

кандидат географических наук, МГУ им. М.В Ломоносова, Географический факультет

DOI: 10.7868/50044394823030040

Венера – одна из самых загадочных и удивительных планет земной группы. За все время ее изучения с помощью наземных наблюдений и с помощью космических миссий (орбитальных станций и посадочных аппаратов) накоплено большое количество данных, и все равно, тайн у Венеры остается очень много.

В современной астробиологии стремительно развивается целое направление, посвященное важнейшему и интригующему вопросу о возможности существования жизни в облачном слое Венеры. Могут ли гипотетические микробные сообщества существовать в этом слое? Какими свойствами они должны обладать, чтобы противостоять воздействию крайне экстремальных факторов среды? Каким образом должны быть организованы такие сообщества? Какая энергия для жизни может быть им доступна?

И интерес ученых к Венере только растет. Это связано не только с самой возможной венерианской жизнью. Хотя, несомненно, этот вопрос сам по себе необыкновенно интересен. Изучение Венеры может существенно расширить многие фундаментальные представления – и о концепции оби-

таемости, в том числе и для экзопланет, когда значение имеет не только расстояние от звезды, но и другие факторы, и о возможностях жизни вообще, в том числе и возможностях жизни в совершенно новой среде, непохожей на земную. Если же признаки жизни в атмосферы Венеры не будут обнаружены, тогда возникнет не менее сложный вопрос: почему жизнь там не появилась? А ответ на него станет не менее важным для понимания происхождения жизни на Земле и понимания тех необходимых условий, которые нужны для зарождения жизни и эволюции.

ВВЕДЕНИЕ

К концу 60-х годов прошлого века уже существовали гипотезы о возможной жизни на Марсе, Европе, Энцеладе

и Титане, и даже на Церере, но вот Венеры в этом списке не было.

Вообще говоря, предположения об обитаемости Венеры возникли задолго до начала космической эры. Об условиях на поверхности планеты ничего не было известно даже приблизительно, что давало огромный простор для фантазии. Так, в астрономической юмореске писателя-фантаста Д. Панкова 1928 года Венера представляется окруженной толстым слоем облаков, и мы читаем о ее гипотетических обитателях: «... Для чего им костюм? И так тепло, как в бане. А от сырости снизу и сверху достаточно галош и зонтика».

Далее, у Рея Брэдбери есть два рассказа цикла «Венерианские хроники» (1950, 1954), у Аркадия и Бориса Стругацких – «Страна багровых туч» (1952–1957), у Станислава Лема – «Астронавты» (1951), где Венера представляется обитаемой планетой с облаками из формальдегида. Ученые 60-х годов прошлого века предлагали гипотезы обитаемости Венеры, основываясь на сходстве Венеры и Земли по многим параметрам.

С наступлением космической эры представления о Венере изменились. Как только первые комические аппараты побывали на этой планете в 70-х годах прошлого века, стало понятно, что условия там крайне экстремальные.

Тогда стало очевидным, что на поверхности планеты, где температура достигает 470 °С за счет чудовищного парникового эффекта, с давлением 92 атм (как на глубине 1 км в океане Земли), окутанной толстым слоем облаков из капелек серной кислоты, постоянно проливающих дождем в нижние слои атмосферы, жизнь земного типа невозможна.

Реальность оказалась не менее интересной, чем фантастические предположения. В атмосфере Венеры был обнаружен уникальный облачный слой, где температура не превышает 60–70 °С, давление почти такое же, как на Земле,

Нельзя не отметить отдельно гипотезу, предложенную российским ученым Л. Ксанфомалити, о возможном существовании других неземных форм жизни на поверхности современной Венеры. Эта гипотеза предполагает существование альтернативной и пока неизвестной нам биохимии при высоких температурах и давлениях, когда начинаются такие процессы, которые невозможны в нормальных условиях (Успехи физических наук, № 4, том 189, 2019). Ученые из Института катализа СО РАН провели эксперимент и показали, что при высоких температурах, когда, как известно, скорость химических реакций резко возрастает, роль углерода, который не может существовать при температурах выше 500 °С, может выполнять азот, которого довольно много в венерианской атмосфере. То есть венерианская жизнь может строиться на основе азота, а не углерода, как на Земле. Очевидно, что при существующей температуре 470 °С на поверхности Венеры не может быть не только углерода и его соединений, но и воды. В таких условиях, по мнению авторов, роль растворителя – необходимого компонента для жизни – может выполнять сверхкритический флюид (так называемое четвертое состояние вещества – не газ и не жидкость) из двуокиси серы. Пока у этой смелой гипотезы не так много сторонников, но вполне возможно, что это направление получит свое развитие в будущем (Ксанфомалити Л.В., Зелёный Л.М., Пармон В.Н., Снытников В.Н., 2019; Коростелев С.Г., 2022; Зелёный Л.М., 2022; Ситник Л., 2019).

есть вода в виде водяного пара (правда, в очень низкой концентрации от 40 до 200 частей на миллион), но есть серная кислота, за счет которой кислотность достигает крайне высоких значений с рН от –1.5 до +0.5.

Предполагается, что в такой среде могут выживать микроорганизмы земного типа. Они могут формировать целые сообщества в крошечных каплях – аэрозолях, состоящих из водного раствора серной кислоты (в которых кислотность за счет воды становится меньше). Или, согласно одной из самых современных гипотез, микроорганизмы могут обитать в пенных структурах, образующих целостную экосистему, состоящую из пузырьков воздуха и микроскопических каналов с водяным паром. Такая экосистема может занимать весь облачный слой и самостоятельно поддерживать свое существование.

На Земле аналогов таких экосистем пока не обнаружено, а все известные земные микроорганизмы, хотя и прекрасно выживают в атмосфере, но все же циклы их развития тесно связаны с поверхностью. Венерианские же гипотетические микроорганизмы могут получать от поверхности только различные вещества, а вся остальная их жизнь должна проходить в облаках – на раскаленной поверхности выжить невозможно.

Как гипотетическая жизнь могла оказаться в облаках Венеры? Согласно одной из гипотез, на молодой Венере продолжительное время существовал океан, и жизнь могла зародиться там. Когда же океан испарился в результате чудовищного парникового эффекта, микроорганизмы могли «найти» себе убежище в облаках – единственном месте на Венере, где условия более-менее совместимы с жизнью.

Согласно другой гипотезе, гипотетическая жизнь могла сразу возникнуть в венерианском облачном слое. Возможно также, что микроорганизмы на Венеру занесли кометы, астероиды или даже побывавшие там комические аппараты.

Научная гипотеза о существовании жизни в облаках Венеры возникла

в 1967 году после того, как космические аппараты *Mariner-2* и *Mariner-5* (NASA) передали первые данные об этой планете. Гипотезу предложили американские ученые Гарольд Моровиц из Йельского университета и известный астроном Карл Саган из Гарвардской обсерватории Смитсоновского института (штат Массачусетс, США). Удивительно, но уже тогда авторы довольно точно описали некоторые моменты, которые станут обсуждаться гораздо позже. В своей работе, опубликованной в научном журнале *Nature*, Моровиц и Саган писали, «... вероятно, что верхний слой облаков Венеры содержит кристаллы водяного льда, а в нижней части находятся капли воды... Если даже небольшое количество минералов поднимается в атмосферу с поверхности, ничего не мешает предположить, что в облаках возможно существование жизни». Эта работа вызвала большой интерес, и венерианское направление астробиологии стало активно развиваться.

В 2018 году Санджай Лимае из Висконсинского университета в Мэдисоне с коллегами опубликовали знаковую работу и сформулировали концепцию обитаемости венерианских облаков. Концепция Лимае во многом строилась на объяснении природы так называемого ультрафиолетового (УФ) поглотителя. В облачном слое атмосферы Венеры на снимках, сделанных аппаратом *Venus Express* (ESA, 2011) в УФ диапазоне, был обнаружен таинственный поглотитель неизвестной природы. Оказалось, что спектр поглощения этого поглотителя не подходит для неорганических соединений, но зато хорошо коррелирует с различными биологическими макромолекулами. Тогда и возникло предположение о том, что природа этого поглотителя биологическая.

Астробиологи находят все новые подтверждения и доказательства того, что облачный слой Венеры может быть

обитаем. Обнаружение в 2020 году на этой планете фосфина (ядовитого бесцветного газа, который может иметь биогенное происхождение) снова вызвало активную дискуссию и снова подогрело огромный интерес астробиологов к этой теме.

В современной астробиологии Венеры рассматриваются и обсуждаются несколько основных вопросов:

- физико-химические условия потенциально обитаемого облачного слоя и то, насколько они пригодны для жизни;
- различные теории происхождения жизни на Венере;
- объяснение происхождения метана, фосфина и УФ поглотителя и других пока не до конца понятных аномалий в облачном слое;
- как организованы гипотетические венерианские облачные экосистемы – т. е. как микроорганизмы могут адаптироваться к таким условиям и выживать в такой среде – каким образом они

могут осуществлять биогеохимические циклы, какая энергия им доступна, как они могут формировать полноценные сообщества и самостоятельно поддерживать свою жизнь и биомассу.

Очевидно, что окончательный ответ должны дать прямые измерения. В ближайшее время к этой планете планируется сразу несколько крупных космических миссий NASA, ESA, ISRO, «Венера Д». Запуск миссии VOICE по исследованию атмосферы климата и вулканов Венеры планирует в 2026 году и Китайская академия наук. Вполне возможно, что совсем скоро мы станем наблюдать настоящую венерианскую гонку.

В прошлом в исследованиях Венеры наша страна имела безусловный приоритет и накопила уникальный опыт создания посадочных аппаратов для исследования этой планеты. Очень хочется надеяться, что это направление продолжит свое развитие и в будущем.

Успешные запуски космических аппаратов (КА), передавших сведения о Венере

Страна	Название аппарата	Год запуска	Научные задачи / основные результаты	Создатель
СССР	«Венера-1»	1961	Первый пролет мимо Венеры. Далее связь потеряна.	Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева
США	<i>Mariner-2</i>	1962	Измерения радиоизлучения Венеры.	NASA
СССР	«Венера-2» «Венера-3»	1965	Связь потеряна до приближения к планете.	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством Г.Н. Бабакина
СССР	«Венера-4»	1967	Первый в мире зонд, проникший в атмосферу Венеры.	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством Г.Н. Бабакина
США	<i>Mariner-5</i>	1967	Пролет рядом с Венерой, исследование атмосферы.	NASA
СССР	«Венера-5» «Венера-6»	1969	Исследования атмосферы. Вертикальные профили температуры, давления, скорости ветра в атмосфере с 60 до 20 км.	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством Г.Н. Бабакина

Страна	Название аппарата	Год запуска	Научные задачи / основные результаты	Создатель
			Получены результаты состава атмосферы с помощью газовых анализаторов (97% CO ₂ , 2% N ₂ , менее 1% O ₂ , следы H ₂ O), открыта водородная корона, показано, что планета не имеет собственного магнитного поля и радиационных поясов. При попытке посадки на поверхность аппараты были раздавлены высоким давлением. Такой величины давления никто не ожидал, но они успели передать ценную информацию об атмосфере.	
СССР	«Венера-7»	1970	Первая в мире успешная посадка на поверхность Венеры. Работа на поверхности 27 минут. Прямые измерения давления и температуры на поверхности.	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством Г.Н. Бабакина
СССР	«Венера-8»	1972	Успешная посадка на поверхность. Работа на поверхности 50 минут. Проведены измерения освещенности (экстраполированная к полудню она составляла 1000–3000 лк – как в сумерках на Земле); скорости ветра, которые достигали 50–60 м/с на высоте 50 км и от 0–2 м/с у поверхности – обнаружена суперротация.	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством С.С. Крюкова
СССР	«Венера-9» «Венера-10»	1973– 1975	Аппараты содержали посадочные и орбитальные аппараты. Посадочные аппараты работали на поверхности до двух часов. Впервые были получены черно-белые панорамы поверхности Венеры. Измерен уровень естественных радиоактивных элементов (калия, урана, тория).	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством С.С. Крюкова
США	<i>Pioneer Venus-1</i> <i>Pioneer Venus-2</i>	1978	Исследования атмосферы. Спускаемые аппараты отключились, не долетев 12 км до поверхности.	NASA
СССР	«Венера-11» «Венера-12»	1978	Измерение концентрации инертных газов в атмосфере: неона, аргона, криптона, изотопное отношение ³⁶ Ar/ ⁴⁰ Ar, а также SO ₂ и CO под облаками. Определение вертикального профиля содержания воды в атмосфере.	

Страна	Название аппарата	Год запуска	Научные задачи / основные результаты	Создатель
СССР	«Венера-13» «Венера-14»	1981	Впервые произведен забор пробы грунта Венеры внутри специального отсека для определения элементного состава рентгено-флюоресцентным спектрометром. Впервые были получены цветные панорамы поверхности Венеры. Впервые проведены спектрофотометрические измерения солнечного потока в УФ-области спектра при спуске. Измерено содержание H_2S , COS , SFe .	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством С.С. Крюкова
СССР	«Венера-15» «Венера-16»	1983	Проведение радарного картирования, получение детальной топографической карты приполярных областей северного полушария с горизонтальным разрешением 0,9–2,5 км и вертикальным 50 м. Изучение атмосферы и ионосферы с помощью радио просвечивания. Изучение вертикального распределения температуры, аэрозоля, скорости ветра, водяного пара, двуокиси серы в мезосфере с помощью планетного Фурье-спектрометра.	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством С.С. Крюкова
СССР	«Bera-1» «Bera-2»	1984	Посетили Венеру на пути к комете Галлея. Спускаемые аппараты массой около 2 т содержали посадочные аппараты и атмосферные зонды с комплексом научных приборов. Впервые было выполнено бурение. Впервые в атмосферу другой планеты были запущены аэро-статные метеорологические зонды, которые дрейфовали более 48 ч на высоте 53–55 км и передавали полученные данные на Землю.	НПО им. С.А. Лавочкина под руководством С.С. Крюкова
США	<i>Magellan</i>	1989	Радарное картирование поверхности.	NASA
Евросоюз	<i>Venus Express</i>	2005	КА успешно проработал на орбите 8 лет. Исследование атмосферы.	EKA
Япония	<i>Akatsuki 2</i>	2010	Исследование атмосферы. Попытка выхода на орбиту Венеры в 2010 году закончилась неудачей. После повторной попытки 2015 года КА смог удачно выйти на заданную орбиту.	JAXA

В настоящее время в российскую Федеральную космическую программу входит миссия «Венера Д», в рамках которой планируются астробиологиче-

ские эксперименты. Сейчас миссия находится на стадии эскизного проектирования, а запуск ожидается в 2028–2030 годах.

Космические миссии по изучению Венеры, намеченные на ближайшее будущее (по открытым источникам)

Название	Полное название и основные элементы конструкции	Планируемый запуск, гг.	Основные задачи
«Венера Д», (Роскосмос, ИКИ)	«Венера долгоживущая». Состоит из орбитального и посадочного аппаратов.	2029–2030	<i>Орбитальный аппарат.</i> Изучение состава атмосферы: содержания летучих и инертных газов и их изотопов, состава облачных аэрозольных частиц и элементов, которые могли бы сигнализировать о наличии жизни в атмосфере Венеры, изучение природы УФ поглотителя и исследование излучения поверхности с орбиты, измерение скорости ветра на разных высотах в атмосфере, исследования динамики и причин суперротации. <i>Посадочный аппарат.</i> Изучение минералогического состава Венеры с помощью бурильной установки. Планируется, что полученный материал будет доставлен внутрь аппарата и распределен между четырьмя экспериментами на борту.
DAVINCI+, (NASA)	«Исследование благородных газов и химии глубинной части атмосферы Венеры и получение изображений». Состоит из орбитального аппарата, спускаемого аппарата и посадочного аппарата.	2029–2031	<i>Орбитальный аппарат.</i> Анализ облачного слоя Венеры, УФ излучения, поглощаемого дневной стороной планеты, а также количества тепла, излучаемого ночной стороной. <i>Спускаемый зонд.</i> Изучение геологической истории Венеры, изучение возможности существования океана на Венере и возможных причин его исчезновения. Отделение примерно через два года после запуска от основного аппарата. Взятие пробы газов из атмосферы Венеры на пути к поверхности. <i>Принцип работы спускаемого зонда.</i> Зонд имеет небольшое входное отверстие снаружи капсулы высокого давления, через которое образцы атмосферы на разных высотах забираются в орбитальный аппарат для анализа.

Название	Полное название и основные элементы конструкции	Планируемый запуск, гг.	Основные задачи
			Планируемое время работы спускаемого зонда после приземления в районе тессеры Альфа – до 20 минут.
VERITAS, (NASA)	«Излучательная способность, радиоизлучение, интерферометрический радар с синтезированной апертурой, топография и спектроскопия». Состоит из одного орбитального модуля с радаром высокого разрешения для исследования поверхности Венеры.	2028–2029	Создание трехмерной топографической модели поверхности Венеры, изучение геологической истории Венеры.
EnVision, (ESA /NASA)	Состоит из одного орбитального модуля.	2031–2032	Изучение современных геологических процессов на Венере, в том числе вулканизма.
Venus Orbiter, ISRO (Индийская организация космических исследований)	Состоит из одного орбитального модуля.	2026	Изучение поверхности Венеры, состава и динамики атмосферы. Изучение взаимодействия атмосферы с солнечной радиацией и солнечным ветром.
Akatsuki 2 (JAXA, Японское агентство аэрокосмических исследований)	Состоит из одного орбитального модуля.	2029–2031	Изучение современного климата Венеры.

В рамках астробиологических исследований Венеры очень важно решить две задачи: какие биосигнатуры следует искать в облаках планеты и как именно следует их искать. Наличие жизни, очевидно, зависит от множества факторов среды, и поэтому астробиологи рассматривают и учитывают все данные о строении венерианской атмосферы, об особенностях климата и геодинамики поверхности. Далее мы дадим краткий обзор возникающих при этих исследованиях загадок и вопросов, которых у Венеры огромное количество.

МОЖНО ЛИ ЖИТЬ НА ВЕНЕРЕ?

Атмосфера Венеры

Известно, что на 97% атмосфера Венеры состоит из углекислого газа, она необыкновенно мощная (примерно в 100 раз больше земной) и плотная.

Почему на Венера сформировалась такая плотная атмосфера и большая атмосфера – большая загадка.

Малыми составляющими венерианской атмосферы, помимо CO, O₂, SO₂, COS, HCL, HF, являются такие благородные газы как Ar, Ne, Kr и Xe.

Еще одно загадочное явление венерианской атмосферы – суперротация, когда выше уровня 50–60 км атмосферные слои вращаются с огромной скоростью. Механизм этого явления пока не ясен. Возможно, что энергию для такого быстрого вращения поставляют диссипация термических приливов, на которые, как было подсчитано, расходуется около 50% от солнечной энергии, поглощаемой в интервале высот 60–70 км в верхнем облачном слое. Как раз в пределах этих высот находится тот облачный слой, где и фиксировался неизвестный УФ поглотитель, а также фосфин и другие аномалии, не исключающие биологическое объяснение. Поэтому не исключено, что именно это «что-то неизвестное биологической природы» эту энергию и поглощает.

Считается, что слой венерианских облаков с более-менее пригодными для жизни условиями, где гипотетически могут обитать микроорганизмы, находится на высоте от 47 до 57 километров. Значения температуры там могут достигать примерно от +60 до +70 °С.

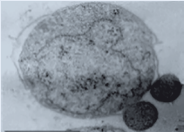
А вот спорный момент для жизни – это крайне низкие значения активности воды и крайне высокая кислотность.

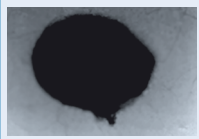
Облака на Венере состоят из мелких капелек раствора серной кислоты высокой концентрации. Вероятно, серная кислота образуется в результате фотохимического воздействия из сернистого газа SO_2 , который выбрасывают в атмосферу извержения вулканов, а затем он вступает в реакцию с атомарным кислородом (на Земле в атмосфере также происходят эти процессы, но в значительно меньших масштабах). В результате этих процессов значения pH в венерианских облаках достигают диапазона от +0.5 до –1.5. Это крайне высокая кислотность.

Среди еще одного экстремального фактора венерианских облаков – низкая концентрация воды, которая присутствует там в виде водяного пара в концентрации 40–200 частей на миллион.

Известно, что в таких условиях способны выживать единичные виды земных микроорганизмов (бактерий и архей), которые относятся к группе экстремофилов.

Примеры видов земных микроорганизмов – хемолитотрофных экстремофилов, которые могут выживать в условиях венерианских облаков (Kotsyurbenko et al., 2021)

Вид	Систематическая группа	Значение температуры, при которой данный вид выживает, °С	Значение кислотности (pH), при котором данный вид выживает	Местообитание на Земле	Фото
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	Протеобактерии	50–60	1.5–2.5	Геотермальные источники	
<i>Acidianus infernus</i>	Археи, подгруппа кренархеот	65–96	1–5.5	Сольфатары (испарения на дне кратеров вулканов, состоящие из сернистого газа,	

Вид	Систематическая группа	Значение температуры, при которой данный вид выживает, °C	Значение кислотности (pH), при котором данный вид выживает	Местообитание на Земле	Фото
				паров воды, углекислого газа, сероводорода); гидротермальные системы	
<i>Acidianus brierly</i>	Археи, подгруппа кренархеот	45–75	1–6	Сольфатары, гидротермальные системы	
<i>Acidianus manzaensis</i>	Археи, подгруппа кренархеот	60–90	1–5	Горячие вулканические газы	
<i>Acidianus sulfidivorans</i>	Археи, подгруппа кренархеот	45–83	0.35–3	Сольфатары	
<i>Stygiolobus azoricus</i>	Археи, подгруппа кренархеот	57–89	1–5.5	Сольфатары	

Нужно отметить высокую степень УФ излучения в облаках Венеры. По данным Чарльза Коккеля из Эдинбургского университета, над венерианским облачным слоем УФ поток на 190% больше, чем на современной Земле, но в самих облаках, где предполагается жизнь, он снижается до значений, близких к значению УФ потока на молодой Земле в архейский период до появления озонового экрана (Коккель, 1999). А вот атмосферное давление в облаках Венеры практически такое же, как на Земле, от 1.5 до 1 атм.

Принципиально важный вывод из исследований Венеры – это наличие благоприятных аспектов для жизни. Как показали предыдущие миссии к этой планете и результаты многолетней работы, в облачном слое нахо-

дятся все необходимые для жизни элементы: углерод, водород, азот, кислород и фосфор, а также большое количество железа и соединения H_2O , CO , CO_2 , COS , P_2O_5 , S_3 , H_2SO_4 , SO_2 , Cl , $FeCl_3$. Все это перемешивается благодаря ветрам и подвергается воздействию УФ излучения, что способствует протеканию и ускорению самых разных химических реакций.

По словам профессора Дэвида Гринспуна из Института планетарных исследований в Вашингтоне, «Венера остается активной планетой с активными процессами в недрах, с поверхностью, облик которой менялся много раз за счет этих процессов. Венера имеет неравновесную, химически активную атмосферу, что создает систему облаков, которая, можно сказать, в какой-то

мере функционирует, как океан на Земле. И опять нужно задать вопрос – что нужно жизни на самом деле для возникновения и развития <...> Если придерживаться гипотезы “жизнь следует за водой”, тогда единственный обитаемый мир в Солнечной системе – это Земля. Но если для развития жизни нужна активная планета, где существовали бы источники энергии и питательные вещества, тогда Венера могла бы иметь больше всего шансов для возникновения жизни после Земли».

Жизнь в капле или в пене

В современной биологии сформировалась следующая концепция необходимых условий для существования жизни:

- наличие воды (растворителя);
- подходящие физико-химические условия;
- доступная энергия;
- необходимые химические элементы.

О.Р. Коцюрбенко из Югорского государственного университета и его коллеги разработали концепцию эффективного функционирования венерианского микробного сообщества в таких особенных условиях. Авторы считают, что в венерианских облаках формируются особые типы экосистем, а микроорганизмы обитают в уникальных микрониах – аэрозолях с водным раствором серной кислоты и различными соединениями. В работах коллектива авторов было показано, что в таких аэрозолях могут находиться различные неорганические и органические соединения – катионы щелочных и щелочно-земельных металлов и аммония, а также анионы сульфата, хлорида и нитрата и карбоновые кислоты, причем предположительно в биодоступных формах. А серная кислота, при всем своем вреде для жизни, играет в этом случае положительную роль за счет своей гигроскопичности,

благодаря чему концентрация воды в аэрозолях повышается, и вода становится более доступной для микроорганизмов. Согласованные взаимодействия различных микроорганизмов способствуют стабилизации всего микробного сообщества, как системы.

Новую гипотезу строения микрониах в облаках Венеры предлагает Д.А. Складнев из Института микробиологии им. С.Н. Виноградского. По мнению автора, средой обитания венерианских микроорганизмов может быть пена, как единый объем водной фазы. По словам Складнева, современные определения жизни предполагают наличие не единичных клеток или организмов, а сообществ, которые могут стабильно поддерживать свое существование в течение длительного времени. А для этого такие сообщества должны быть сложно организованы определенным образом, иметь трофические (пищевые) связи, быть единой системой, где происходит круговорот вещества и энергии.

По теории академика Г.А. Заварзина, микроорганизмы одного вида не выживают даже в «тепличных» земных условиях. Для выживания и стабильного существования, они должны сформировать сообщество, то есть сложно организованную систему. Эта система состоит из разных видов, каждый из которых специализируется на определенной функции, «умеет» производить или делать что-то, и «делится» этим продуктом с другими.

Предполагается, что для существования такого сообщества необходим единый водный объем по всему облачному слою, где микроорганизмы могли бы перемещаться, коммуницировать, взаимодействовать друг с другом, обмениваясь веществом и энергией.

Пена хорошо обеспечивает все эти условия. Она состоит из газовых пузырьков, окруженных одной общей для

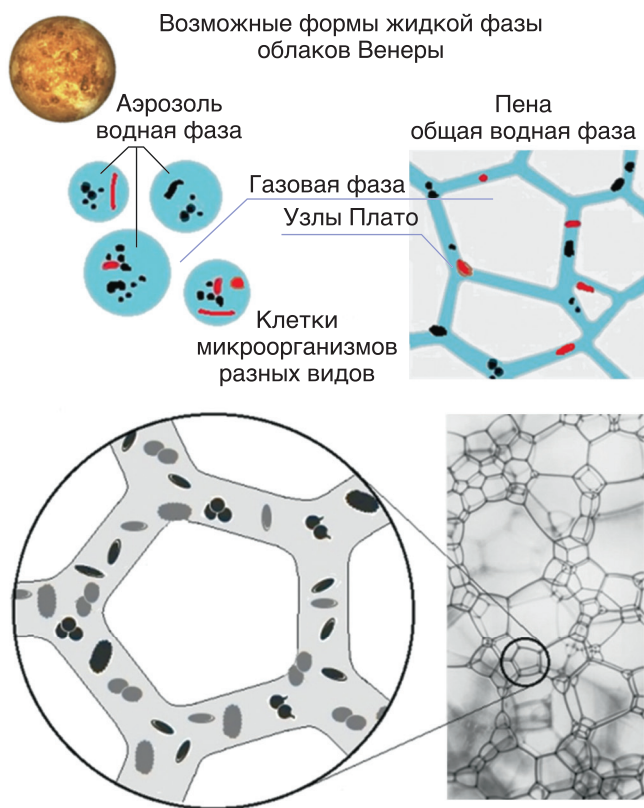
всего облачного слоя системной канальцев с водной фазой. Именно в этой водной фазе, по мнению авторов, растворены все необходимые для микроорганизмов вещества, которые свободно перемещаются по всей системе, там находится и большинство микроорганизмов, происходит их рост и развитие.

Все необходимые для жизни вещества, попадающие в пену с поверхности Венеры или из космоса, и те вещества, которые выделяют сами микроорганизмы, оказываются в едином общем объеме пенных канальцев и доступны всему сообществу.

Сами пузырьки обеспечивают легкость и воздушность всей системе, которая представляется очень жизнеспособной и пластичной. Интересно, что даже, если пенная структура рвется, то может затем спокойно перемещаться в любом направлении, а затем снова встраиваться в систему.

Поддерживать существование таких пенных структур, как было показано в экспериментах, может синтез определенных веществ при высоких температурах на поверхности Венеры. Такие вещества называются протекторы, которые могут затем подниматься в облачный слой и в определенной степени стабилизировать стенки пены.

Получаются такие плавающие в облаках, защищенные от суровой внешней среды «аквариумы наоборот», где в стенках с водой перемещаются обитатели и растворенные вещества, а между стенками находится воздух.



Жизнь гипотетических микроорганизмов в пенных структурах на Венере (Складнев, 2023)

Где взять энергию?

Предполагается, что гипотетические венерианские микроорганизмы могут жить за счет энергии фотосинтеза и хемосинтеза. Этому вопросу посвящено много работ. А поскольку в венерианских облаках большая концентрация серы и железа, то, скорее всего, именно эти два элемента играют центральную роль во всех биогеохимических циклах.

Коцюрбенко в своей работе предлагает несколько типов метаболизма венерианские микроорганизмов. И здесь преобладают реакции, связанные с преобразованиями серы.

При доступности большого потока УФ излучения в венерианских облаках, микроорганизмы должны были бы вос-

пользоваться и им. Например, использовать аноксигенный фотосинтез (поскольку кислорода в атмосфере Венеры очень мало), в результате которого образуются окисленные формы железа и сера. Вполне возможно, что фототрофные и хемотрофные микроорганизмы взаимодействуют друг с другом и образуют очень сложную систему.

Считается, что все эти процессы научились осуществлять самые первые древние микроорганизмы на Земле (археи и бактерии), которые обитали в гидротермальных источниках. Однако авторы подчеркивают, что прямых аналогов подобных гипотетических венерианских экосистем с такими уникальными микронизмами на Земле не существует. Тем не менее аналогом по способу метаболизма явно выступают гидротермальные источники, а аналогом по месту обитания – микроорганизмы, обитающие в атмосфере.

Заметим, что их можно считать аналогом с оговоркой, так как земные бактерии в воздухе находятся лишь временно, а их определенные жизненные циклы все же связаны с поверхностью. Венерианские же организмы должны проходить весь свой цикл в облаках. Именно поэтому ученые называют такой тип существования аэриобиогеохимическим – когда система микроорганизмов живет в атмосфере, но не просто выживает, а поддерживают свою биомассу за счет вовлечения в биогеохимические циклы – и это принципиально новый тип существования.

Происхождение жизни на Венере

Один из самых важных вопросов, на которых строится концепция обитаемости венерианских облаков – это вопрос о происхождении жизни на этой планете. Существует несколько гипотез. Первая гипотеза связывает появление жизни на Венере с существованием

там океана на протяжении длительного времени. Вторая гипотеза рассматривает появление жизни сразу в облачном слое. Третья гипотеза связывает появление жизни на Венере с панспермией. Последняя подразделяется на баллистическую и техногенную, а также может быть представлена как литопанспермия, когда жизнь переносят горные породы.

Каким был океан молодой Венеры

Согласно современным представлениям, около 4.5 млрд лет назад Венера точно так же, как Земля и другие планеты земной группы, образовалась из протопланетного диска за счет аккреции (сходные состав и плотности планет указывает на такой общий сценарий).

По-видимому, в самом начале, как и на Земле, внутренне тепло Венеры вырывалось из недр на поверхность в результате извержения вулканов. Шел процесс дегазации мантии, формировалась первичная атмосфера, наполняясь углекислым газом, сернистыми соединениями и водой. Скорее всего, в этот период молодая Земля и молодая Венера были очень похожи.

Впервые предположение о том, что на Венере мог существовать океан, возникло в 1978 году, когда были получены первые данные о составе атмосферы с помощью нейтронного масс-спектрометра, установленного на борту космического аппарата *Pioneer Venus Large Probe*.

Тогда ученые подсчитали, что отношение атомов дейтерия (тяжелого водорода) к атомам обычного водорода в венерианской атмосфере (ниже облачного слоя) в 120 больше, чем на Земле. Существует одно из объяснений, что весь легкий водород, который был в составе воды на Венере, ушел в космос в процессе диссипации, а более тяжелый остался, поскольку легче удер-

живается гравитационным притяжением планеты из-за более низкой скорости теплового движения молекул.

Удалось также выяснить, что уносимые солнечным ветром атомы кислорода и водорода находятся в соотношении 2:1, как и должно быть при расщеплении молекул воды.

Другой, более поздний эксперимент ASPERA на «Венере Экспресс» (Европейское космическое агентство, 2009 г.) показал, что соотношение D/H в венерианской атмосфере даже не в 120 (по данным *Pioneer Venus*), а в 240 ± 25 раз больше, чем на Земле.

На основе этих данных и моделирования строились предположения. Например, Майкл Вей из Института космических исследований им. Годдарда и его коллеги построили модель, которая показывает, что на протяжении огромного периода времени – первых 2–3 млрд лет – климат на молодой Венере был вполне умеренным, и средняя температура не превышала 25.

Авторы, следуя гипотезе о молодом Солнце, считают, что в то время оно светило менее ярко, а в атмосфере Венеры преобладали азот и парниковые газы. К последним относились углекислый газ и метан, но их еще не успело накопиться так много, в том числе и за счет того, что, возможно, в то время там еще работала тектоника плит.

Вей считает, что в тот период Венера находилась в так называемой зоне обитаемости, то есть была с нашей точки зрения пригодной для жизни. По разным подсчетам, океан мог просуществовать на поверхности планеты от 2 до 3 млрд лет, он был мелким – его глубина не превышала 300 метров – и теплым (M.J. Way, A.D. Del Genio, *Astrobiology*, October 2021).

Однако не все ученые согласны с подобной реконструкцией. Например, существует точка зрения, что примерно первые 100 млн лет на Венере суще-

ствовал не водный океан, а океан расплавленной магмы, пары от которого сформировали атмосферу с преобладанием углекислого газа и воды.

Существует также гипотеза о том, что океан на молодой Венере все же был, но совсем недолго – примерно 1 млн лет.

Но все же, как признаются сами авторы подобных реконструкций, эти модели скорее умозрительные. Чтобы построить более достоверные модели существования на Венере океана, необходимо выяснить множество вопросов, говорят планетологи.

Важно понять, как долго происходил процесс застывания магмы сразу после образования Венеры, могла ли вода конденсироваться на ее поверхности, происходил ли процесс дегазации мантии. Являются ли соотношения D/H, полученные *Pioneer Venus*, точными и действительно ли они доказывают существование воды на поверхности Венеры? Какова была скорость вращения молодой Венеры и как ее величина влияла на климат?

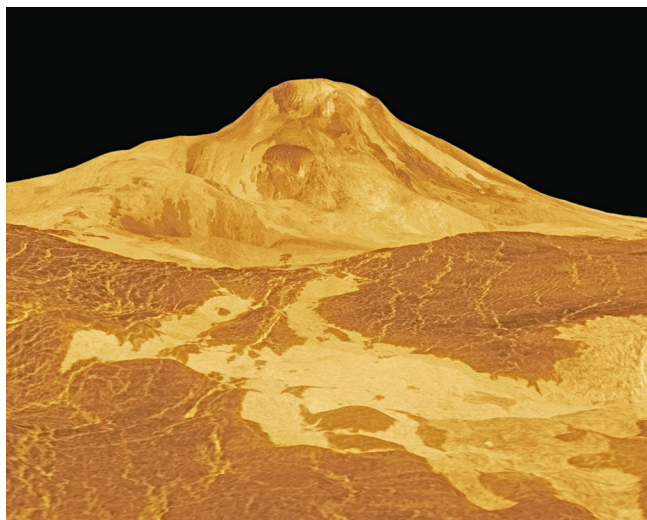
Пока точных ответов на эти вопросы нет, строятся лишь предположения. Ведь модели – это всегда проблема построения и данных. Здесь все должны решить ближайшие миссии.

Прямой ответ на вопрос, был ли на Венере океан, можно было бы найти также в венерианском минерале тремолите, считает Гринспун.

Известно, что этот устойчивый минерал встречается и на Земле и образуется при повышенной температуре в присутствии большого количества воды.

Ученые полагают, что тремолит мог сохраниться на Венере до наших дней, а искать его нужно в выходах на поверхность древних горных пород, в районах тессер.

В реальности выполнить эту задачу не так просто, поскольку 80% поверх-



Вулкан Маат Монс, трехмерная перспектива поверхности Венеры с масштабом, умноженным на 22.5, построенная на основе радиолокационных изображений зонда «Магеллан» (источник: «Википедия»)

ности Венеры залито вулканическими базальтами от мощных извержений, которые затрагивали практически всю поверхность Венеры и практически полностью перекрыли все древние породы. Этот активный период закончился по геологическим меркам совсем недавно, 500–700 млн лет назад.

Очень важен вопрос о том, существуют ли действующие вулканы на Венере в настоящее время. Многие работы показывают, что извержения происходили в ближайшем прошлом, а значит, происходят и сейчас.

Например, Роберт Херрик из Аляскинского университета в Фэрбенксе в статье, опубликованной в недавнем номере журнала *Science*, провел анализ данных, полученных миссией «Магеллан» с 1990 по 1992 годы, и утверждает, что в это время произошло извержение вулкана. Автор пишет: *«В нашем исследовании мы провели анализ обзора 1.5% поверхности Венеры. Предполагаемое извержение находится в районе, где, как считается, может происходить ак-*

тивная вулканическая деятельность – в районе вулкана Маат Монс в районе Atla Regio <...> Предполагаемый тип извержения – сравним с Гавайскими вулканами на Земле... По всей видимости, на Венере и сейчас идет активная вулканическая деятельность».

Этот вывод может иметь огромное значение и для климата Венеры, и для формирования благоприятной среды для жизни. С извержением вулканов в облака могут поступать не только геохимические элементы, но и вода, это и огромный источник энергии.

Кроме тессер и перекрытых вулканическими ба-

зальтами горных пород на равнине, совсем недавно были обнаружены другие участки, где древние породы выходят на ровную поверхность (Иванов, 2021). Изучать эти выходы очень интересно, поскольку, возможно, именно там сохранились окаменевшие остатки древней венерианской жизни, если она там была. Вполне возможно, что по аналогии с Землей, там могут находиться строматолиты – окаменелые остатки скоплений цианобактерий.

Другая группа ученых под руководством Джорджа Хасимото из Университета города Кобэ и его коллеги считает, что для проверки гипотезы о существовании на древней поверхности Венеры океана достаточно детально изучить космические снимки (2008).

И все же сторонники гипотезы существования на молодой Венере океана в любом случае вынуждены признать, что океан на Венере в какой-то момент исчез. И это определило весь дальнейший путь эволюции планеты. Почему так произошло?

Хасимото и коллеги с помощью анализа снимков в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне, полученных КА Galileo, разглядели на Венере признаки фельзических кислых горных пород – одной из разновидностей гранитов, которые образуются в присутствии большого количества воды. Аргумент в пользу наличия водного океана на поверхности Венеры в прошлом, по мнению авторов, это не просто присутствие таких гранитов, а их распределение по поверхности. Как выяснили ученые, в среднем в инфракрасном диапазоне темнее выглядят гористые области планеты, в то время как низины излучают больше, при той же температуре. Хуже излучают именно кислые породы, и здесь аналогия напрашивается такая: на Земле кислые граниты – это континентальные породы, а основные базальты – океаническая. Однако в этом исследовании много спорных моментов, так как «увидеть», как излучают низины и высокогорья на Венере, сложно, потому что мешает очень плотная атмосфера, а для расчетов необходимо учитывать необыкновенно сложные модели энергетического баланса венерианской атмосферы.

Скорее всего, было несколько причин, среди которых – отсутствие на Венере тектоники литосферных плит. Тектоника выводит огромное количество углекислого газа из атмосферы в океан, тем самым не давая ему накапливаться в атмосфере и разгоняться парниковому эффекту (возможно, что тектоника какое-то время была, а потом прекратилась). Среди возможных причин потери океана – это отсутствие у Венеры магнитного поля (из-за этого молекулы легко уносит поток плазмы солнечного ветра) и близкое расположение к Солнцу, что и разогрело планету.

Как исчезал океан

Существуют теории, которые показывают, что через 2–3 млн лет после момента своего образования Солнце становилось все ярче и горячее. Венера находится довольно близко к Солнцу, поэтому ее поверхность постепенно разогревалась. Тепла в «венерианскую топку» добавил и парниковый эффект. Так, в результате извержения вулканов в атмосферу поступало все больше и больше парниковых газов, в основном углекислого, которые плотным, огромным и едким «одеялом» укутывали планету, и тогда ее поверхность раскалилась до немыслимых +470 °C.

Пока совсем не понятно, происходил ли этот процесс постепенно или очень быстро. Для существования жизни в облачном слое Венеры это принципиальный вопрос, поскольку позволяет понять, сколько времени было у микроорганизмов, чтобы адаптироваться к новым условиям.

Механизм формирования столь мощного парникового эффекта на Венере показывает уязвимость и чувствительность любой климатической системы к углекислому газу. И тут вероятно нас ожидает немало открытий, которые очень важны для понимания того, что же можно ожидать на Земле, если наш парниковый эффект будет продолжаться.

Предполагается, что при увеличении температуры на поверхности океан Венеры начал просто испаряться. А при отсутствии магнитного поля расщепленные молекулы воды в верхних слоях атмосферы легко сдувал поток плазмы солнечного ветра. Таким образом, на месте океана на Венере осталась лишь безжизненная пустыня. Жизнь, если она и успела появиться в океане или на поверхности, вынуждена была «бежать», спасаясь от огромных температур и давления. Спрятаться можно

было под поверхностью или поднявшись в облака. Так могла сформироваться подземная биосфера и биосфера атмосфера.

С восходящими потоками горячего пара в облака могли быть перенесены активные жизнеспособные клетки микроорганизмов или их покоящиеся формы – споры или цисты. Если кислотность облаков изначально не была такой высокой, как сейчас, то это могло гипотетическим микроорганизмам выжить, адаптироваться и начать развиваться и формировать принципиально новые сообщества с совершенно иными свойствами, трофическими связями и организацией. В этом случае микроорганизмы могли постепенно в процессе эволюции приобретать новые свойства.

Облака как биореактор

Коцюрбенко рассматривает в своей работе все три гипотезы возможного возникновения жизни на Венере и не исключает появления жизни сразу в облачном слое. Если же жизнь появилась сначала на венерианской поверхности, то и эволюция могла идти там так же, как на Земле.

Сейчас большинство ученых, которые поддерживают гипотезу возникновения жизни на поверхности Земли, считают, что жизнь возникла в гидротермальных источниках. На Венере, возможно, точно также, происходило просачивание воды во внутренние слои, где вода обогащалась минералами и нагревалась, что стимулировало сложную химию, затем биохимию и образование живых клеток.

Предка всех венерианских организмов по аналогии с земным LUCA (последний общий предок всех живых организмов) авторы предлагают назвать VLUCA (венерианским общим предком всех живых организмов). Если в самом начале VLUCA использовал энергию

железистых и сернистых соединений, то потом «научился» использовать более сложный путь с образованием метана и ацетата. Уже потом появились микроорганизмы с более сложным типом метаболизма на основе редукционных процессов. Тогда же могли появиться и аноксигенные фотосинтетики.

Также, по мнению Коцюрбенко, жизнь могла возникнуть сразу в облачном слое Венеры, в этом случае его можно назвать своеобразным биореактором. И это совершенно новая гипотеза возникновения жизни. Это предположение хорошо согласуется с концепцией «термодинамической инверсии» В.Н. Компаниченко, когда возникновение жизни и переход от неживого к живому осуществляется благодаря периодическому воздействию экстремальных факторов, вызывающих у системы сложных органических молекул стресс. В венерианских облаках с этой точки зрения условия максимально благоприятные. Это и большой градиент температур, и выраженные колебания многих параметров, большие скорости перемешивания благодаря ветрам, неравномерное поступление веществ с поверхности, недостаток воды – все это, возможно, стимулирует процессы образования жизни.

Как найти жизнь?

Наконец, самый интересный и один из самых сложных вопросов, который интересует астробиологов: как можно найти и детектировать с помощью приборов жизнь в венерианских облаках? Какие биосигнатуры можно искать? Для поиска такой жизни в облаках Венеры уже разработано несколько подходов.

Единственный подход, к которому ученые относятся пока с большой осторожностью, – это сбор проб с живыми клетками и их доставка для изучения на Землю. Идея хоть и за-

манчивая, но в ней скрывается большая опасность, ведь если доставить на Землю живое вещество с подобными земным ДНК и РНК (это могут быть и отдельные клетки бактерий, архей, вирусы), то существует большой риск передачи неизвестной пока нам биоинформации. И большой вопрос, к каким последствиям уже для земной жизни это может привести. Чем больше их ДНК окажется совместимой с нашими генами, тем больше опасность. В этом случае важно держать образцы под «контролем».

Одно из направлений «безопасного» поиска биосигнатур – это спектрометрия, но более детальная по сравнению с предыдущими миссиями, и выполняемая по всему облачному профилю.

Также предлагается использовать в качестве биосигнатур сложные комплексы, которые образуются на границе взаимодействия микроорганизмов с различными частицами, которые может детектировать спектроскопия.

Другие потенциальные биосигнатуры – это S-содержащие хиноны (это уникальные молекулы, переносчики электронов, которые также работают для извлечения энергии с участием железа и серы).

Также это могут быть методы прямого микроскопирования состава аэрозолей – это могут быть современные особо чувствительные приборы для детектирования определенных химических связей атомов в молекулах, присутствующих в атмосфере Венеры и обнаружения совсем небольших концентраций веществ.

Японские ученые из Технологического университета в Токио предлагают для детектирования клеток использовать новейший метод, когда будут отбираться пробы с аэрозолями, а затем будет проводиться их анализ с помощью флуоресцентной микроскопии (Satoshi Sasaki, 2022).

Другое направление поиска биосигнатур связано с детектированием продуктов разрушения живой клетки. В.В. Сорокин из Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН предлагает идею использовать в качестве признаков отличия живого от неживого продукты лизиса живой клетки. В основе этого метода лежит представление о том, что при разрушении клеток земного типа в среду выходят внутриклеточные молекулы и все структуры: ДНК, белки, вакуоли, внутриклеточные мембранные структуры, а это все есть только у живых клеток. Надежная регистрация таких изменений и может служить доказательством того, что произошел фазовый переход от живой клетки к неживой, а если в разных местах будет обнаружены аналогичные продукты разрушения, тогда можно с уверенностью говорить об обитаемости облаков Венеры.

Складнев разработал метод детектирования живых клеток на основе лизиса для пенных структур гипотетически обитаемых венерианских облаков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, венерианские облака представляются средой с особой уникальной организацией физических и химических процессов, возможно, совершенно иной по сравнению с земной. В облачных аэрозолях или пенных структурах может находиться уникальный мир с гипотетическими сообществами микроорганизмов, которые сами «научились» формировать более пригодную для себя среду обитания с помощью сложнейших биохимических адаптаций, «улучшая» условия своего существования, и автономно поддерживать свою биомассу за счет сложнейших биогеохимических циклов и организации трофической структуры. Такие микроорга-

низмы могут переходить в различные состояния (от цист и спор до активного состояния) в зависимости от условий, в которые они попадают, и максимально использовать все возможные способы адаптации и доступные источники энергии для поддержания жизни.

Не исключается и гипотеза об альтернативной организации жизни на поверхности Венеры и ее облаках, непохожей на земную, жизни, основанной на совсем другой, пока не известной биохимии.

Ответы на множество вопросов должны появиться с ближайшим будущим, когда, будем надеяться, новые космические миссии достигнут поверхности Венеры и начнут передавать новые данные.

Благодарности

Автор выражает благодарность доктору биологических наук, профессору Складневу Дмитрию Анатольевичу (Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского) и доктору биологических наук, профессору Коцюрбенко Олегу Ролландовичу (Югорский государственный университет) за помощь в подготовке статьи.

Литература

1. Ivanov M.A., Head J.W. Global geological map of Venus, Planet. Space Sci., Vol. 59. N 13. 2011.
2. Herrick Robert R., Scott Hensley. Surface changes observed on a Venusian volcano during the Magellan mission. Science, 2023. Vol. 379. Is. 6638.
3. Kotsyurbenko O.R., Cordova J.A., Belov A.A., Cheptsov V.S., Kölbl D., Khrunyk Y.Y., Kryuchkova M.O., Milojevic T., Mogul R., Sasaki S. Exobiology of the venusian clouds: New insights into habitability through terrestrial models and methods of detection. Astrobiology 2021, 21.
4. Petkowski J.J., Seager S., Grinspoon D.H., Bains W., Ranjan S., Rimmer P.B., Buchanan W.P., Agrawal A., Mogul R., Carr C.E. Venus' atmosphere anomalies as motivation for astrobiology missions. Astrobiology, 2022.
5. Зеленый Л.М. М.В. Ломоносов. У истоков исследования планетных атмосфер и философии русского космизма // Земля и Вселенная. 2022. № 3.
6. Коростелев С.Г. Парад планет Леонида Ксанфомалити. К 90-летию со дня рождения // Земля и Вселенная. 2022. № 3.
7. Ксанфомалити Л.В., Зеленый Л.М., Пармон В.Н., Снытников В.Н. Гипотетические признаки жизни на планете Венера: ревизии результатов телевизионных экспериментов 1975–1982 гг. // Успехи физических наук. 2019. Т. 189. № 4.
8. Коцюрбенко О.Р. Поиск жизни на Венере: история проблемы и основные концепции // Астрономический вестник. 2023. Т. 57. № 3.
9. Ситник Л. Жизнь на Венере? Возможно! // Русский космос. 2019. № 7.

издательство
НАУКА
 — 1727 —

А вы отправили обязательный экземпляр?

Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно.
Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oe@naukapublishers.ru

Реклама

НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА НА СЛУЖБЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА



ЕМЕЛЬЯНОВ Николай Владимирович

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга*

DOI: 10.7868/50044394823030052

Небесная механика исключительно важна для изучения многих земных процессов, для научного и философского прогресса человечества, и тому есть много причин, которые рассмотрены в этой статье. Построение моделей движения небесных тел – это мощное средство для освоения Солнечной системы и сейчас, и в далеком будущем. Массы и другие характеристики планет эффективно определяются по движениям их многочисленных спутников – это одна из ключевых задач современной небесной механики.

Поговорим о современной небесной механике. Как ни странно, реальность научной жизни такова, что необходимо разъяснить, что же собой представляет современная небесная механика.

Прежде всего, мне хотелось бы обратить внимание читателя на мотивацию занятий наукой вообще, включая, конечно, астрономию и небесную механику. На первый взгляд, мотивация

очевидна: например, «астрономия – это интересно!». Однако рано или поздно становится необходимым четкий ответ на вопрос: зачем это нужно? Ведь иначе дело лучше вообще и не начинать. Ответ на этот вопрос, конечно, сильно зависит от возраста человека. У детей младшего школьного возраста основной критерий – развлекательный. Другими словами, ребенок скажет: «Пойду туда, где весело». С возрастом этот незамысловатый критерий сменяется другим: «Пойду туда, где интересно». Только к старшим курсам института или университета у студентов возникает вопрос: а это вообще-то кому-нибудь нужно? или: а мне самому-то это зачем?

Я выделил бы три основные мотивации занятия наукой. Первая заключается в постоянном стремлении человека удовлетворять свое любопытство. Вторая – более меркантильная и заключается в потребности постоянно

улучшать условия жизни. Третья мотивация основана на представлении о постоянной угрозе окружающего мира – кто же нас убережет от опасностей природы? Когда-то физики так деятельно защищались от молнии, что приручили электричество, что породило лампочки, моторчики и, наконец, компьютеры, смартфоны и прочие информационные блага цивилизации.

Осознание того, что во все стороны простирается необъятная Вселенная, всегда беспокоило человека, порожидала двоякое желание. С одной стороны, хорошо было бы понять свое место в необозримом пространстве и в бесконечном разнообразии окружающего мира. Отсутствие приемлемого ответа на этот глобальный вопрос порождало дискомфорт. С другой стороны, всегда присутствовало желание извлечь из природы и космоса выгоду для удовлетворения постоянно растущих потребностей. Угроза от непостижимых сил природы оборачивается еще большим дискомфортом, именно в силу своей неизвестности. Стоит же дать объяснение – и угроза уже не кажется такой страшной. Разумные объяснения законов природы, рациональное толкование природных явлений возвращает нас к комфорту повседневной жизни. Мне представляется, следует быть хотя бы отчасти благодарными тем, кто избавляет нас от тревожащих вопросов о космосе, от вопросов о путях и судьбах людей в огромном мире.

С древних времен люди задумывались о влиянии небесных светил на земную жизнь. Попытки сопоставить небесные явления с судьбой человека делались как учеными, так и далекими от науки предприимчивыми пройдохами. Однако во все времена неизменно получался весьма ненадежный результат. Что касается судеб самих небесных тел, то астрономы и математики давно рассчитали удивитель-

но устойчивый характер их движения. Размеры и формы орбит планет, наклоны осей их вращения почти не изменились даже на космогонических интервалах времени.

Ученые-естествоиспытатели и философы пришли к выводу, что главная причина существования Разума во Вселенной – это стремление к познанию. Разумная жизнь характеризуется стремлением понять и объяснить происходящие вокруг явления.

На любом этапе познания Вселенной мы уже имеем более или менее адекватную модель. Научные исследования – гибкий, динамический процесс, и новые, более точные наблюдения часто приводят к рассогласованию имеющихся моделей с действительностью. Чаще всего желаемое согласование модели восстанавливается путем уточнения известных параметров движения или состояния небесных тел. Иногда приходится значительно совершенствовать теории, методы построения модели или методы вычислений. Процесс невольно направлен на обнаружение новых, необъясненных явлений. На некотором этапе удастся добыть эту столь необходимую разуму «пищу», но этому всегда предшествует колоссальный труд ученых-наблюдателей, теоретиков, вычислителей. Модели движения небесных тел ценны еще тем, что позволяют предвычислять их расположение в любой момент времени в прошлом или будущем.

От теории есть толк только тогда, когда она представляет собой не только абстрактные конструкции в воображении очарованного теоретика, но и хорошо отлаженные процедуры, исправно служащие целям практического познания природы.

Одним из главных инструментов на таком пути и является практическая небесная механика. Именно этот раздел астрономии дает наиболее полные

и точные знания о динамике небесных тел, в том числе спутников планет.

Небесная механика – это область науки, которая занимается изучением движений небесных тел под действием естественных сил природы. Предметом небесной механики являются механические формы движения материи, а объекты исследований – всевозможные материальные образования, от мельчайших частиц космической пыли до колоссальных систем типа звездных скоплений, галактик и скоплений галактик. Цель небесной механики – познание законов природы, управляющих механическими движениями небесных тел.

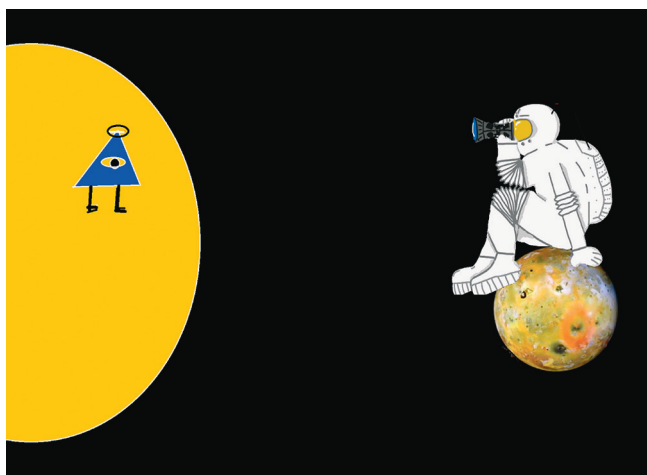
Для всего естествознания небесная механика играет роль фундамента, без которого немислимо познание Вселенной и освоение космоса. Значение небесной механики для жизни на Земле состоит в использовании знаний о движении небесных тел и о ближнем космосе как для улучшения жизни всего человечества, так и для его защиты от сил природы. Теория движения искусственных спутников Земли позволяет использовать космические аппараты для коммуникации и исследования земных ресурсов. Теория движения астероидов, комет и метеоров дает оценку опасности попадания этих тел в атмосферу и выпадения на земную поверхность. Исследования движений тел Солнечной системы позволили создать фундаментальную систему отсчета – модель инерциальной системы, реализованную небесной механикой и астрометрией в форме астрономических ежегодников и фундаментальных звездных каталогов.

В недрах небесной механики возникли, оформились и развились многие наиболее эффективные методы математической физики и вычислительной математики. В качестве примера (и отнюдь не единственного!) можно

указать методы численного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих различные природные явления и рукотворные процессы. Зародившись в небесной механике, эти и другие численные методы получили широчайшее распространение в науке и технике. В XVII–XVIII вв. с решения астрономических задач методами небесной механики началась, по существу, и вся теоретическая физика.

Не только преимущественно теория систем обыкновенных дифференциальных уравнений, как это было в прошлом столетии, но, по сути дела, весь арсенал современных средств прикладной математики используется современной небесной механикой при моделировании движений космических объектов.

Какие космические объекты наиболее интересны? Ответ на вопрос зависит от поставленных целей. Солнечная система, содержащая множество больших и малых тел, представляет собой пространство, потенциально возможное для расширения среды обитания человека. И это уже не научная фантастика, а вполне реальные перспективы. Когда-то европейцы в своем стремлении осваивать новые земли натолкнулись на Америку. Но планеты и спутники лучше хорошо изучить заранее, прежде чем непосредственно отправляться к ним. Ведь космическое пространство таит в себе гораздо больше опасностей и неопределенностей для человека, чем открытый океан. В свободном полете между планетами неизбежно возникает много вопросов: о возможных остановках, о пополнении топлива, о мерах против гравитационных полей чужих планет – нам ведь обязательно захочется вернуться на родную Землю! Придется брать с собой достаточно много ракетного топлива, чтобы преодолеть гравитацию другой планеты. Полет туда и обратно требует очень много энергии.



Спутники планет хороши тем, что сидя на них, удобно наблюдать и изучать саму планету Рисунок автора

По пути мы увидим, что планеты имеют спутники. У них и гравитация поменьше, и до планеты совсем недалеко: наблюдай планету с ее спутника сколько хочешь! Да и сам спутник интересен: из чего сделан? откуда взялся? Это наилучшее место и для отдыха, и для пересадки. Но чтобы попасть точно на спутник, нужно очень хорошо прицелиться и, конечно, учесть, что спутник движется. Придется вычислять заранее его координаты. Хватит ли ракетного топлива, чтобы поправить траекторию, если расчет окажется неверным? Таким образом, становится совершенно ясно, что лучше еще на Земле хорошо рассчитать динамику нужного нам спутника. Спутник далеко, а компьютеры близко. И если создать компьютерную модель спутника, точно измерив его координаты для определения параметров его реального движения, то можно изучить динамику спутника до тонкостей.

Галилей в 1610 г. увидел первые четыре спутника у Юпитера, чем открыл эпоху изучения спутников планет Солнечной системы. В 1950 г. было известно 30 спутников, а в 2000 г. – 70. В конце двадцатого века построили новые мощные телескопы. Что стали искать? Конечно, опасности от падающих на Землю астероидов. Это было актуально. Иногда никак не получалось определить орбиту астероида, и оказывалось, что это вовсе не астероид, а спутник Юпитера или Сатурна. Так начали открывать много

новых спутников. И не только у Юпитера и Сатурна, но и у Урана и Нептуна. Сейчас известно более 210 спутников планет. И открывают все новые.

Для качественных наблюдений на телескопе нужно иметь хорошие фотокамеры. Сейчас их роль выполняют ПЗС-камеры, и точность расчета движения спутника в конечном итоге зависит теперь от технологий телескопостроения и электроники.

Обстоятельства движения спутников, как и других тел Солнечной

Нужно очень точно вычислить положение небесного тела, прежде чем полететь к нему. Рисунок автора

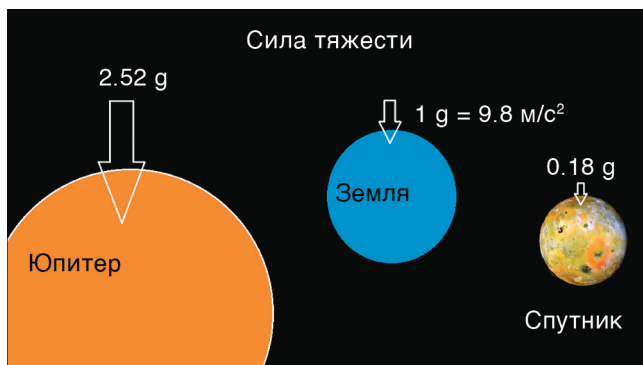


системы, таковы, что точность предвычисления координат на моменты времени в будущем напрямую зависит от интервала времени наблюдений. Нужен максимально возможный большой интервал. Нужно даже использовать наблюдения, выполненные до открытия спутника. Французский ученый У. Лавуазье так и делал: в 1846 г. он понял, что планета Уран движется не так, как предсказывает его теория. Лавуазье

подумал, что на Уран влияет притяжение какой-то неизвестной планеты. Знакомый ему наблюдатель посмотрел туда, где указывал Лавуазье, и так обнаружил новую планету, которую назвали Нептун. Лавуазье поискал новую планету в старых данных и обнаружил, что раньше принимаемое за звезду тело и оказалось предвычисленной им новой планетой. В наше время также стоит искать спутники в старых данных, на старых фотопластинках, чтобы увеличить так необходимый максимальный интервал времени наблюдений.

Итак, наблюдения – основа наших знаний о движении спутников планет. На движение спутников влияет очень много факторов, в том числе фигура планеты, вокруг которой он вращается, и отклонения этой фигуры от шара. Например, известно, что все большие планеты сжаты у полюсов.

При подлете к спутнику космический аппарат будет притягиваться его планетой, и чтобы вычислить нужную траекторию, необходимо знать массу планеты. Как же ее узнать? Планету ведь не взвесить на весах. Есть надежный способ: пусть вокруг нее в большом количестве полетают космические аппараты, и тогда по формам их траекторий можно будет определить мас-



Чтобы совершить мягкую посадку на небесное тело, нужно преодолеть его притяжение. Гораздо удобнее сесть на спутник планеты, чем на саму планету. Рисунок автора

су планеты. Метод надежный, но, очевидно, очень финансово затратный. Но приглядимся к окрестностям планеты внимательнее – там же летают ее собственные спутники и совершенно бесплатно! Вот их движения и можно измерять. Тогда мы сможем определить не только массу планеты, но и ее сжатие. При изучении планет-гигантов Солнечной системы изучают движения их многочисленных спутников. А ведь есть еще и Солнце – огромное массивное тело, которое, очевидно, влияет на спутники. И сами спутники влияют друг на друга. Так, шаг за шагом, мы приходим к пониманию того, что движения спутников планет – самые сложные движения в небесной механике.

Но вернемся к наблюдениям. Необходимо их максимально большое число, чтобы компьютерное моделирование динамики спутника отражало реальную картину. Таким образом, следует объединять все имеющиеся в разных странах наблюдения.

Французские коллеги в 1996 г. пригласили меня в Париж собирать базу данных наблюдений спутников. Мы выискивали наблюдения повсюду. Например, в трудах Казанской городской астрономической обсерватории, а еще в таком старом «экзотическом»

издании, как «Рукописи, депонированные в ВИНТИ». Нужно было не просто собрать данные, но организовать базу данных и обеспечить доступ к ней через интернет. Такая уникальная база данных всех наблюдений всех спутников планет и была создана (Емельянов Н.В., Вашковьяк С.Н., Уральская В.С.).

Путем составления огромнейших вычислительных программ удалось заставить спутники двигаться в компьютере подобно тому, как они движутся возле планеты. Это теперь возможно сделать для всех известных к настоящему времени 210 спутников больших планет, от Марса до Нептуна, а также малых планет Солнечной системы.

Для того чтобы указанная база была доступна широкому кругу пользователей, в интернете был создан так называемый сервер эфемерид, MULTI-SAT. Подобные серверы есть только у американцев (JPL, Калифорнийский технологический институт). Сильно ограниченные по составу спутников варианты имеются в Международном центре малых планет (MPC) и в Институте прикладной астрономии (ИПА РАН). Наш сервер эфемерид всех спутников планет MULTI-SAT доступен на сайте ГАИШ МГУ по адресу <http://www.sai.msu.ru/neb/nss/indexr.htm>, а так называемое зеркало этих страниц размещено на сайте французского института небесной механики и вычисления эфемерид (IMCCE) по адресу <http://nsdb.imcce.fr/multisat/>.

А как обстоят дела с исследованием движений спутников малых планет, то есть спутников астероидов? Это действительно очень трудная задача. Сейчас известно около 250 астероидов, имеющих спутники, про которые известно только то, что они есть. На небесной сфере спутники астероидов отстоят от своих главных тел на расстоянии не более 1 секунды дуги, и измерять относительные координаты в таких условиях очень трудно. Для это-

го используют методы так называемой спекл-интерферометрии и адаптивной оптики, которая компенсирует дрожание изображения из-за преломления света в турбулентной атмосфере Земли.

Разным авторам в мире удавалось определять орбиты спутников астероидов. В свое время это удалось американцу В. Грунди с его коллегами. Они определили орбиты 38 спутников. Но этих данных, очевидно, недостаточно.

В наших работах удалось определить орбиты 64 спутников астероидов. Это максимально, что можно было сделать из имеющихся астрометрических наблюдений. Все эти эфемериды включены в сервер MULTI-SAT. Знание орбит спутников астероидов сразу дает значение суммарной массы главной компоненты со спутником. Это почти единственный способ определить массу.

Как уже было сказано, успех наблюдений и моделирования движения спутников сильно зависит от прогресса в телескопной оптике и электронике. Однако некоторые практики небесной механики не стали ждать технологических чудес и искали принципиально иные способы добычи данных о спутниках планет. Оказывается, орбиты некоторых главных спутников планет лежат примерно в одной плоскости, наклоненной к плоскости орбиты планеты. По этой причине при наблюдениях с Земли спутники могут покрывать (заслонять) друг друга. Кроме того, в эти периоды один спутник может попадать в тень другого. Суммарная яркость спутников при этом падает. Такой спад можно измерять, наблюдая спутники с Земли. Про подобные явления я уже рассказывал на страницах журнала «Земля и Вселенная» в конце 80-х и в 90-х гг. прошлого века.

По измеренной кривой блеска можно определять разности координат спутников. Точность таких определений лучше точности обычных астро-

метрических наблюдений. Явления происходят в течение 9–15 месяцев один раз в поворот планет вокруг Солнца. Для спутников Юпитера это раз в 6 лет. Длительность взаимного покрытия или взаимного затмения составляет 5–15 минут. Такое кратковременное явление может наблюдаться одновременно только на части наземных обсерваторий, поэтому организуются международные кампании таких наблюдений. Обработка фотометрии спутников во время этих взаимных явлений, то есть получение взаимных координат спутников по кривой блеска, представляет собой очень сложный процесс. Я и коллеги принимали активное участие в этих работах, в результате которых, например, удалось определить параметры вязкости вещества спутников. Многие загадки странных движений спутников были раскрыты.

С помощью многочисленных космических аппаратов неуклонно происходит естественное расширение среды обитания людей, оно распространяет-

ся теперь на всю Солнечную систему. Для изучения этой новой среды необходимо развитие науки – небесной механики, математически эффективного и практически значимого средства изучения природы.

Литература

1. Емельянов Н.В., Вашковьяк С.Н., Уральская В.С. Источники и базы данных для изучения динамики спутников астероидов // *Астрономический вестник*. 2018. Т. 52. № 3. С. 260–266.
2. Emel'yanov N. V., Arlot J.-E. The natural satellites ephemerides facility MULTI-SAT // *Astronomy and Astrophysics*. 2008. Vol. 487. P. 759–765.
3. Emel'yanov N.V., Drozdov A.E. Asteroid satellite ephemeride service. Mutual occultations and eclipses. *Icarus*. 2021. V. 355. P. 114–160.
4. Емельянов Н.В. Редкие явления в системе Плутона // *Земля и Вселенная*. 1989. № 4; Емельянов Н. Особая эпоха в изучении движения спутников Сатурна // *Земля и Вселенная*. 1995. № 1; Емельянов Н.В. Необычные явления в системах спутников планет // *Земля и Вселенная*. 1997. № 3.
5. Емельянов Н.В. Динамика естественных спутников планет на основе наблюдений. *Фрязино: Век-2*, 1997. 576 с.



издательство

НАУКА
— 1727 —

**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ
ПЕРЕПЛЕТ**

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожаный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обзоров
А также адресные папки, дипломы, футляры

Беремся за работы любой сложности!
По всем интересующим вопросам пишите на почту ilsinitsyn@tnauka.ru

реклама

ТРИ АСТРОНОМА-КОМАНДОРА

МАСЛИКОВ Сергей Юрьевич,

кандидат физико-математических наук

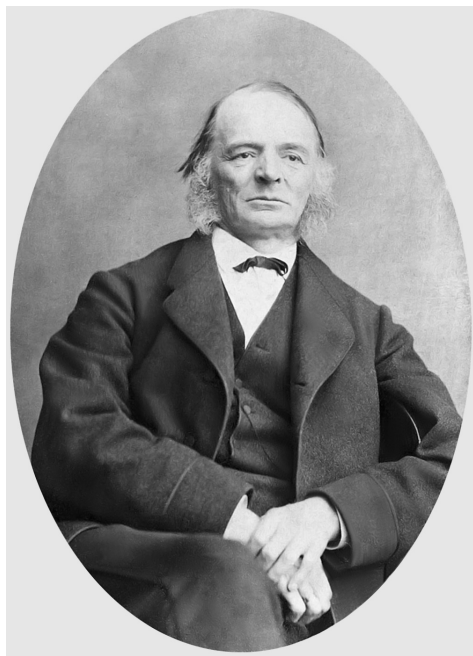
Новосибирское астрономическое общество

DOI: 10.7868/50044394823030064

Слово «командор» пришло к нам с запада и перекликается со словом «командир». В XVIII в. и начале XIX в. в русском флоте существовало звание капитан-командор. Это звание было выше, чем просто капитан, и предполагало командование небольшой группой кораблей. Его носили, например, наши знаменитые мореплаватели Витус Беринг и Фаддей Фаддеевич Беллинсгаузен. На западе этот титул часто указывает на при-

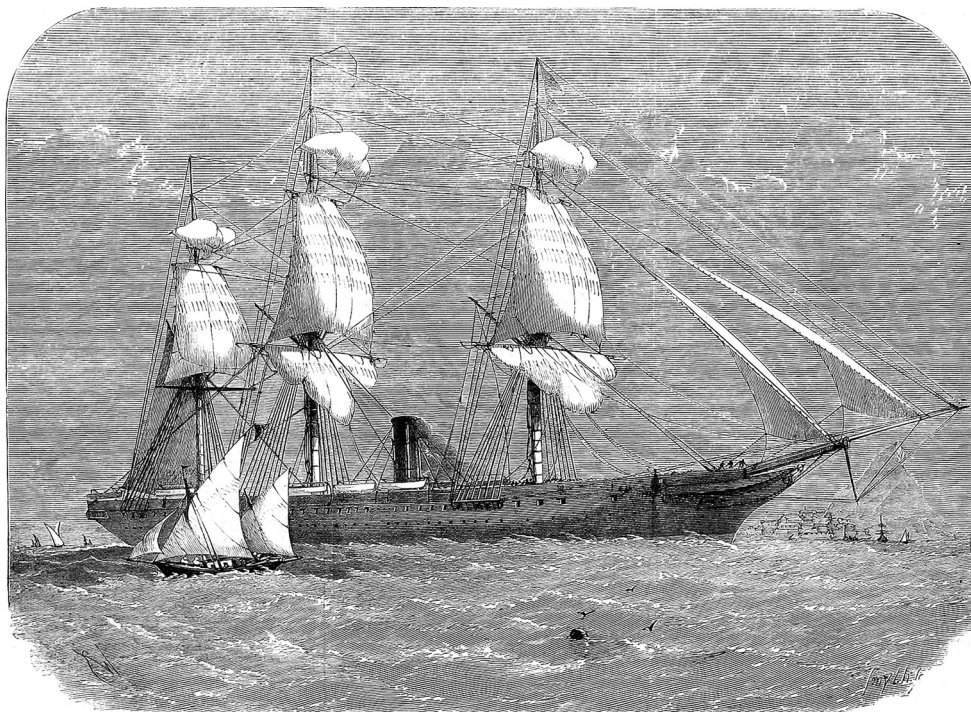
надлежность человека к какому-либо рыцарскому ордену или к некоему особому сословию.

Оказалось, что среди русских и советских астрономов тоже есть командоры. По аналогии с мореплавателями им можно присвоить титул астроном-командор. Трижды наши астрономы удостоивались высоких зарубежных наград за наблюдение полных солнечных затмений. Первым был отличен пулковский астроном Отто Васильевич Струве (Отто Вильгельм фон Струве, 1819–1905)¹, наблюдавший затмение 6 (18) июля 1860 г. в Испании. Вторым – энтузиаст астрономии Николай Николаевич Дониц (1874–1956) за затмение 16 (29) марта 1904 г. Третьим – еще один пулковский астроном Владислав Михайлович Соболев (1928–1993) за затмение 30 июня 1973 г. Поскольку Н.Н. Дониц в период получения награды жил в Санкт-Петербурге, то можно сказать, что все три награды имеют отношение к нашей северной столице.



Отто Васильевич Струве. Фотография 1870-х гг.

¹ Академик Петербургской Академии наук, в 1862–1889 гг. – директор Пулковской обсерватории, в этот период она обогатилась новыми инструментами, например, в 1886 г. знаменитым 30-дюймовым рефрактором, в то время – крупнейшим в мире. В 1874 г. он подготовил несколько экспедиций для наблюдения транзита Венеры по диску Солнца в Восточную Азию, на Кавказ, в Персию и Египет, в 1887 г. – для наблюдения солнечного затмения в России.



Военный пароход «Гималай» длиной 113 м и водоизмещением 3500 т считался крупнейшим в мире в момент его спуска на воду в 1853 г.

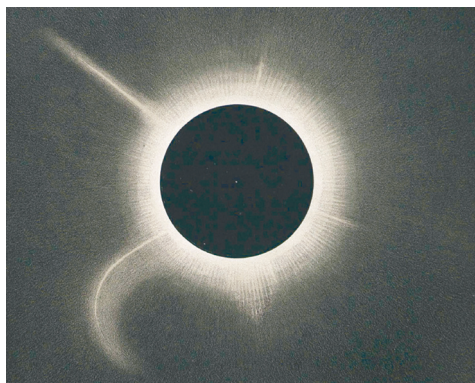
НАГРАДА ИСПАНСКОГО КОРОЛЯ

Первую зарубежную награду за наблюдение полного солнечного затмения получил О.В. Струве, сын первого директора Пулковской обсерватории Василия Яковлевича Струве (Фридрих Георг Вильгельм Струве, 1793–1864). В 1862 г. он официально заменил отца на посту директора, но фактически уже с 1858 г., когда Василий Яковлевич стал часто болеть, Отто Васильевич выполнял его обязанности. Его главные работы относятся к наблюдательной астрономии, в частности, он открыл 500 двойных звезд, наблюдал планеты и их спутники, кольца Сатурна, кометы и туманности, уточнил постоянную прецессии.

Солнечное затмение 6 июля 1860 г. (18 июля по новому стилю) было уже

третьим затмением О.В. Струве. Ранее он наблюдал затмения 1842 и 1851 гг., полосы которых прошли по территории России. Теперь же, в 1860 г., для того, чтобы оказаться в лунной тени, ему пришлось выехать в Испанию вместе с еще двумя астрономами. Это была первая зарубежная экспедиция российских астрономов. Она проходила в рамках большой международной компании, которую организовывал директор Гринвичской обсерватории. Джордж Эйри (1801–1892)² давно сотрудничал с пулковчанами и был иностранным

² Английский математик и астроном Королевской обсерватории в Гринвиче (1835–1881), среди его многочисленных достижений – работа над планетарными орбитами, измерение средней плотности Земли, метод решения двумерных задач механики твердого тела и установление Гринвича в качестве местоположения главного меридиана.



Зарисовка солнечной короны во время затмения 6 (18) июля 1860 г. в Испании. Север – справа

членом-корреспондентом Петербургской академии наук. Поэтому он радушно принимал гостей из России в своем доме в Гринвиче.

Астрономы из разных стран съехались в английский порт Плимут, чтобы оттуда всем вместе отправиться в Испанию. Английское правительство выделило для экспедиции большой военный пароход «Гималай», рассчитанный на перевозку 3 тыс. солдат! По названию судна вся экспедиция стала называться гималайской. На борту парохода имелись каюты на 200 пассажиров первого и второго классов, поэтому астрономы, которых было всего-то около 50 человек, чувствовали себя вольготно. Первая группа астрономов, среди которых были и россияне, высадилась в порту Бильбао на северном побережье Испании. Правительство Испании проявило максимум гостеприимства: никаких таможен, каждую команду сопровождал инженер, который помогал в решении всех вопросов. Три российских астронома по железной дороге добрались до города Витория-Гастейс, что в 60 км от побережья, оттуда уже в небольшую деревушку Побес, лежащую вблизи центра полосы затмения. Сюда же прибыл и главный распорядитель экспедиции – Джордж Эйри.

Единственным домом, где можно было остановиться астрономам, был дом начальника станции. Хотя, как пишет сам О.В. Струве, он не сильно отличался от бедных лачуг местных жителей.

Небо в это время капризничало, а за два дня до затмения разразилась настоящая гроза. Пришлось российским наблюдателям расположиться на некотором расстоянии друг от друга – ведь в короткий момент полной фазы одно небольшое облачко могло сорвать наблюдения в одной точке. В день затмения 6 (18) июля 1860 г. с утра тоже было пасмурно, но днем, к моменту начала частных фаз, небо, к счастью, прояснилось.

Во время этого затмения окончательно было подтверждено, что розовые выступы в короне принадлежат Солнцу, и их начали называть протуберанцами. Получило подтверждение мнение, поддерживаемое особенно русскими астрономами, что между протуберанцами и факелами на поверхности нашего светила существует тесная связь. Один из протуберанцев, расположенный близ северного полюса, был столь ярким, что О.В. Струве видел его в трубу через слабо окрашенное стекло еще в течение почти 3 мин после окончания полной фазы. Немецкий астроном Август Виннеке, который состоял в команде О.В. Струве, наблюдал без темного стекла и видел следы протуберанца еще 5 мин 18 с после окончания полной фазы! Таким образом, было доказано, что протуберанцы можно наблюдать и при частных затмениях. Один протуберанец свободно плавал в короне, т. е. был оторван от фотосферы.

В те времена наблюдения солнечных затмений были чрезвычайно важны для науки и считались далеко не рядовыми достижениями, государства всячески поощряли труд ученых, поэтому

испанское правительство наградило О.В. Струве и еще нескольких ведущих астрономов из других стран орденом командорского креста Карлоса III. Этот орден был учрежден королем Карлосом III в 1771 г. в ознаменование рождения его внука Климента и посвящен непорочному зачатию Девы Марии. Какое-то время это была высшая награда Испании, количество наград было ограничено. С небольшими перерывами орден существует по настоящее время. В центре мальтийского креста изображена Дева Мария, на концах креста находятся золотые шарики, а на обороте – цифра III. Имеется надпись на латыни: *Virtuti et merito* – по достоинству и заслугам. Награда имеет пять степеней, командор – это одна из младших, четвертая по значимости степень.

Для Отто Васильевича это была не первая зарубежная награда. За десять лет до этого он был награжден престижной золотой медалью Королевского астрономического общества Великобритании, которая в то время вручалась только одна в году. В 1850 г., когда Отто Струве получил эту награду, ему был только 31 год, но он уже успел проявить себя в больших хронометрических экспедициях между Россией и Англией. Целью экспедиций было точное

определение долготы Пулковского меридиана относительно Гринвича для того, чтобы перейти к единому счету долгот на земной поверхности.

НАГРАДА ДЛЯ ЭНТУЗИАСТА АСТРОНОМИИ

Вторую зарубежную награду получил русский энтузиаст наблюдений солнечных затмений Николай Николаевич Дониц. Впрочем, его можно назвать и молдавским (он родился в предместье Кишинева и имел обсерваторию в Старых Дубоссарах), и русским (состоял на государственной службе в канцелярии Государственного совета Российской империи в Санкт-Петербурге), и румынским (работал в обсерватории в Бухаресте), и даже французским астрономом (работал в обсерваториях в Медоне и Ницце), настолько сложной оказалась судьба Бессарабии, где находился его отчий дом. Из-за связанных с этим драматических поворотов жизни Н.Н. Доница его имя в СССР было предано забвению и вернулось в Россию только в конце 1990-х гг. Дониц с юности грезил астрономией, после окончания университета, не получив места в штате Пулковской обсерватории, он избрал другой



Почтовые марки Молдовы, посвященные памяти Н.Н. Доница, выпущенные в 2003 и 2009 гг. в Международный год астрономии



Фотография наблюдательной площадки Н.Н. Доница на острове Суматра в 1901 г. Надо полагать, в 1904 г. в Пномпене площадка выглядела похожим образом. Из отчета Н.Н. Доница

путь к своей мечте. Николай Николаевич происходил из именитого дворянского рода и благодаря связям смог поступить на службу в Государственную канцелярию в Санкт-Петербурге.

Н.Н. Дониц не был профессиональным астрономом, но и любителем его называть не вполне правильно, настолько серьезно подходил он к своему увлечению: в 1898–1955 гг. он опубликовал 56 научных работ. Для поездок на солнечные затмения он брал отпуск на работе и готовил экспедиции большей частью за свой счет. Среди астрономов Николай Николаевич обладал достаточным авторитетом, чтобы стать полноправным членом Русского астрономического общества и получать финансовую поддержку для своих экспедиций. В 1900 г. он едет на затмение в Испанию, в 1901 г. – в Индонезию, на остров Суматра. Его квартира на Набережной реки Мойки, дом 25 периодически превращалась в штаб-квартиру по подго-

товке к очередной экспедиции. В общей сложности участвовал в наблюдениях десяти солнечных затмений!

Свое третье затмение Н.Н. Дониц наблюдал 17 (30) марта 1904 г. в Пномпене – столице королевства Камбоджи, которая тогда была колонией Франции. Здесь было видно не полное, а кольцеобразное затмение, во время которого солнечная корона не появляется. Тем не менее он решил отправиться в далекую и трудную поездку. Финансовую поддержку в размере 1000 рублей выделил ему русский астроном Ф.А. Бредихин, который до 1895 г. был директором Пулковской обсерватории. Это был последний вклад Ф.А. Бредихина в науку, в этом же году он умер в возрасте 72 лет³.

³ Полосков С.М. Фёдор Александрович Бредихин // Земля и Вселенная. 1982. № 1; Касаткина С.В., Сачков М.Е. Музей Ф.А. Бредихина в Заволжье. К 190-летию со дня рождения великого астронома // Земля и Вселенная. 2021. № 3.

Чтобы вовремя достичь места назначения, Н.Н. Дониц выехал на пароходе из Одессы за два с половиной месяца до затмения. Вместе со своим лаборантом он вез громоздкий груз – две трубы из Пулковской обсерватории с фокусным расстоянием 1640 мм и другое оборудование. Да, Комитет добровольного флота предоставил льготный проезд, Франция освободила экспедицию от пошлины, русская миссия в Бангкоке оказала помощь на месте. Тем не менее экспедиция была тяжелой. Остановившись во вьетнамском Сайгоне, экспедиция по реке Меконг добралась до Пномпеня. В письме С.К. Костинскому⁴ Дониц позднее напишет: «Все содеянное в Пномпене – тяжелый сон». И все же экспедиция оправдалась, она дала значимые научные результаты. На основании наблюдений Дониц получил спектр фотосферы, внешней атмосферы Солнца, и подтвердил отсутствие атмосферы у Луны.

За эту экспедицию Н.Н. Дониц был награжден Королевским орденом Камбоджи. Орден возник в 1864 г. по инициативе короля Камбоджи Нородома I. В то время король полностью зависел



Бюст Н.Н. Доница (скульптор М. Спинеи, архитектор В. Плопа), установленный в 1994 г. на его родине в Старых Дубосарах

от французского генерал-губернатора, поэтому этот орден французская администрация сделала собственной колониальной наградой, он был включен в общую орденскую систему Франции. Награждения производились уже от имени Французской администрации, не только на территории колонии, но и за ее пределами⁵.

Н.Н. Дониц был не единственным русским, удостоенным этой награды. Еще до него, в 1895 г., например, командорский крест Королевского ордена Камбоджи вручили командиру мореходной канонерской лодки «Отважный», капитану 2-го ранга А.Р. Родионову, а большой офицерский крест (награду высшей ступени) получил начальник эскадры Тихого океана контр-адмирал Е.И. Алексеев.

⁴ Сергей Константинович Костинский (1867–1936) – российский и советский астроном, работавший над методами наблюдений и фотографических астрономических измерений в Пулковской обсерватории. В его честь назван эффект Костинского, связанный со слиянием близко расположенных звезд на фотопластинке, а также астероид и кратер на Луне.

⁵ Орден имеет вид восьмиконечной звезды с бриллиантовыми гранями. В центре звезды овальный медальон с элементами камбоджийского герба. Здесь можно разглядеть корону, меч, копье, факел. Орден имел пять степеней: Большой крест, Гранд-офицер, Командор, Офицер и Рыцарь. Н.Н. Дониц стал Командором.

СОВЕТСКИЙ КОМАНДОР

Через 69 лет после Н.Н. Доница награду получил Владислав Михайлович Соболев (1915–1999) – астроном Пулковской обсерватории, астрофизик, основатель ленинградской школы астрофизики, академик АН СССР, Герой Социалистического Труда. 30 июня 1973 г. лунная тень пробежала по северной Африке – это было одно из самых продолжительных затмений XX в., т.к. максимальная продолжительность составила 7 мин. Академия наук СССР организовала комплексную экспедицию в Мавританию, на западное побережье Африки. В состав экспедиции вошли 23 участника, среди которых – представители ГАИШ МГУ, ИЗМИРАН и Пулковской обсерватории.



*Владислав Михайлович Соболев.
Из личного архива семьи Соболевых*

Начальником экспедиции был назначен В.М. Соболев, заместитель директора Пулковской обсерватории по научной работе. Основной темой его многолетних исследований было наше светило, а именно – он занимался по-

строением теории хромосферы. Через руки ученого прошло множество новых приборов для наблюдений за Солнцем, включая первую советскую стратосферную солнечную обсерваторию. Его знали как исключительно спокойного и уравновешенного человека. Соболев умел говорить с самыми разными людьми и убеждать их в правильности того или иного решения. Затмение 1973 г. стало для него четвертым, всего ему довелось наблюдать шесть затмений. Самое первое он наблюдал в 1954 г., будучи аспирантом, а последнее – в 1990 г., когда ему исполнилось 62 года.

Выбранное для наблюдений место лежало довольно далеко от побережья. Корабль доставил экспедицию в ближайший порт – столицу Сенегала Дакар. На борту корабля в Африку прибыли и автомобили, на которых астрономы отправились сначала в столицу Мавритании Нуакшот, и дальше – в глубь пустыни. Водителям пришлось преодолеть более тысячи километров африканских дорог. Из-за жары двигались преимущественно ночью, так как кондиционеров в машинах не было. Особенно трудными были километры, когда закончился асфальт и началась дорога в виде «стиральной доски» с песчаными наносами. Наши автомобили повышенной проходимости ГАЗ-66 и ЗИС-130 показали себя отлично. ЗИСу даже приходилось время от времени вытаскивать из зыбучих песков машины иностранных экспедиций. Позднее, с 1978 г., в этих местах стали проводить ралли Париж – Дакар, трасса которого проходила и через город Атар – конечную цель экспедиции. Можно считать, что в 1973 г. советские водители провели первую разведку этой трассы.

Итак, конечной точкой маршрута стала бывшая французская военная база вблизи города Атар. Пустыня здесь представляла собой каменистое пла-

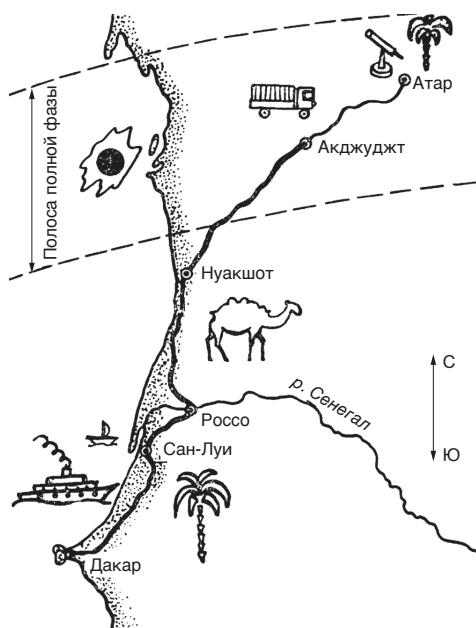
то, местами покрытое песком. На базе расположились также астрономы Франции, Швейцарии, Голландии, Италии, Японии. Здания с кондиционерами достались французам и японцам. Советские астрономы жили в бывших казармах. Ночью располагались на крыше, так как внутри здания спать было невозможно из-за духоты.

В Африке в июне – июле в полдень Солнце проходило вблизи зенита и палило нещадно. Затмение должно было произойти на высоте 60° , поэтому и аппаратуру нужно было настраивать в таких же условиях, на солнцепеке. Астрономы надевали на себя халаты из белой ткани, предварительно забежав в них под душ. Пока ткань сохла, работать было комфортно. Помощники – механики и шоферы – весь день внутри казармы готовили зеленый чай и компот из сухофруктов.

Наблюдения в целом удались, хотя и пострадали от мелкой пыли, постоянно висевшей в воздухе. Так, сотрудники Пулковской обсерватории – В.М. Соболев, Г.Ф. Вяльшин, Б.В. Брюшков-Писарев – работали с бесщелевым дифракционным спектрографом для получения спектрограмм хромосферы Солнца одновременно в двух областях спектра. В результате было обнаружено более 300 линий водорода, гелия и металлов, некоторые из них впервые.

После затмения, на обратном пути, в Нуакшоте, столице Мавритании, советское посольство устроило торжественный прием участников экспедиции. Президент Мавритании наградил руководителя экспедиции В.М. Соболева орденом Заслуг Мавританской республики – это высшая государственная награда страны, учрежденная в 1961 г.⁶

⁶ Знак представляет собой пятиконечную звезду, в центре которой виден полумесяц и надпись на арабском языке. Орден имеет пять



Карта фрагмента полосы солнечного затмения 30 июня 1973 г. в Западной Сахаре. Рисунок из статьи С.Б. Новикова, Ю.В. Платова (журнал «Земля и Вселенная», 1974, № 1)

Три астронома, получившие почетное звание Командора за наблюдение солнечных затмений в 1860, 1904 и 1973 гг., жили в совершенно разное время, но были одинаково преданы своей любимой науке – астрономии. В общей сложности они осуществили 20 экспедиций в лунную тень, а результаты их работы оставили заметный след в науке⁷.

степеней: кавалер Большого креста, Великий офицер, Командор, Офицер и Кавалер – так же, как Королевский орден Камбоджи. Так советский гражданин В.М. Соболев стал третьим по счету астрономом-командором.

⁷ Еще больше историй, случившихся во время солнечных затмений, можно найти в книге автора: Наблюдения солнечных затмений в России и СССР. С древности до наших дней / Сергей Масликов. Новосибирск: Сибпринт, 2021.

ЮБИЛЕЙ МАРСИАНСКОЙ АРМАДЫ

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович

DOI: 10.7868/50044394823030076

50 лет назад, 21 и 25 июля, 5 и 9 августа 1973 г. с космодрома Байконур с помощью ракет-носителей «Протон-К» и разгонных блоков «Д» впервые в мире к Марсу запустили сразу четыре автоматические межпланетные станции (АМС) «Марс-4», «Марс-5», «Марс-6» и «Марс-7» по программе М-73 для его исследования. Все аппараты были выведены на траекторию полета к планете с промежуточной орбиты искусственного спутника Земли. Участки выведения на межпланетные траектории и дальнейший полет вплоть до сближения с Марсом у всех четырех станций были идентичны. Необходимая точность их наведения обеспечивалась коррекциями траектории движения.

Программа «Марс-4» и «Марс-5» была рассчитана на три месяца исследований планеты с орбиты ее

искусственного спутника, спускаемые аппараты «Марс-6» и «Марс-7» должны были совершить мягкие посадки на марсианскую поверхность и передать данные на Землю через орбитальные аппараты «Марс-4» и «Марс-5». 10 февраля 1974 г. «Марс-4» пролетел на расстоянии 1844 км от Марса и произвел его фотографирование; 12 февраля «Марс-5» вышел на орбиту вокруг Марса, выполнил съемку планеты и другие исследования; 12 марта спускаемый аппарат «Марс-6» совершил посадку на Марс с координатами 23,9° ю.ш. и 19,5° з.д. на границе Жемчужной Земли (Margaritifer Terra) и Земли Ноя (Noachis Terra), передав на Землю данные о параметрах марсианской атмосферы, полученные во время снижения, но связь с ним была потеряна; 9 марта «Марс-7» пролетел на расстоянии 1400 км от планеты. «Марс-6 и -7» исследовали космическое пространство с гелиоцентрической орбиты. Причина этих неудач та же, что и на аппаратах серии М-73 («Марс-2 и -3») – отказ ПЗУ команд в БЦВМ С530 из-за некачественных транзисторов 2Т312 производства Воронежского завода полупроводниковых приборов. Ввиду экономии



Межпланетная станция
«Марс-6» на пути к Марсу

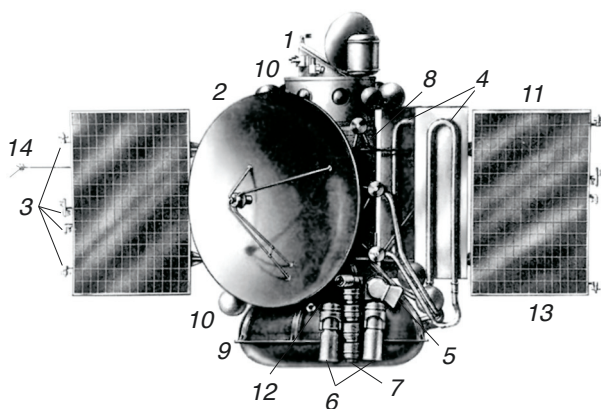
драгметаллов: вводы транзисторов делали не из золота, а из алюминия, оказалось, что они окислялись примерно через полгода, что приводило к нарушению работы или отказу транзисторов. Их полная замена заняла бы около шести месяцев, и тогда пришлось бы отложить запуски на два года, поэтому решили отправлять станции как получится – на авось¹. К сожалению, для нашей страны Марс оказался трудной планетой для исследований, так как эти и последующие станции не смогли выполнить запланированные программы².

Научная программа М-73 состояла в получении возможно более полного представления о физико-химических, ареоморфологических и климатических условиях на этой планете, о специфических особенностях окружающего ее межпланетного пространства.

¹ Марс не стал «советским» из-за плохих транзисторов. Интервью с академиком М.Я. Маровым. РИА Новости, 21 февраля 2011 г.: <https://ria.ru/20110221/336953929.html>

² 1 сентября 1988 г. на траектории полета к Марсу была потеряна связь с АМС «Фобос-1», 27 марта 1989 г. на околомарсианской орбите на завершающей фазе исследований замолк «Фобос-2», 16 ноября 1996 г. из-за отказа разгонного блока не удалось вывести на отлетную траекторию АМС «Марс-8» по проету М-96, та же ситуация произошла 9 ноября 2011 г. с АМС «Фобос-грунт» – станция осталась на орбите ИСЗ и сгорела 15 января 2012 г.; *Захаров А.В., Роговский Г.Н.* Проект «Фобос» – новая экспедиция к Марсу // *Земля и Вселенная*. 1987. № 4. С. 7–14; *Тамкович Г.М.* Завершена ли программа «Фобос»? // *Земля и Вселенная*, 1989. № 5. С. 3–9; *Мороз В.И.* Российские космические проекты исследования Марса (проект «Марс-94») // *Земля и Вселенная*. 1994. № 4. С. 3–16. «Марс-96»: интервью перед стартом // *Земля и Вселенная*. 1996. № 4. С. 18–28; *Куликов С.Д., Горошков И.Н., Мартынов М.Б.* Проект АМС «Фобос-грунт» // *Земля и Вселенная*. 2002. № 6. С. 25–36; *Захаров А.В.* Новая экспедиция к Марсу // *Земля и Вселенная*. 2011. № 4. С. 3–21. Трагическая судьба «Фобоса-грунта» // *Земля и Вселенная*. 2012. № 2. С. 106–107.

«Марс-4 и -5» были снабжены панорамными камерами и фототелевизионными устройствами для получения цветных фотоснимков и панорам участков поверхности Марса. Научные приборы орбитальных аппаратов «Марс-4 и -5» и пролетных отсеков «Марс-6 и -7» предназначались главным образом для изучения ряда важнейших характеристик Марса и околопланетного пространства. Предусматривалось, что станции будут вести научные исследования синхронно, например, «Марс-6» часть работ мог использовать аппаратуру «Марса-4». Планировалось выполнить следующие исследования: измерение газового состава и плотности атмосферы, концентрации газа, распределения водяного пара по диску планеты, диэлектрической проницаемости, температуры поверхности планеты и поляризации с целью определения ее структуры; определение магнитного поля по трассе перелета и вблизи планеты; анализ инфракрасного спектра планеты в области 1.5–5.5 мкм для поиска органических соединений, спектров собственного свечения атмосферы Марса, электрического поля в межпланетной среде и у планеты, солнечного ветра, спектра и состава солнечных космических лучей; регистрация пространственной плотности метеорных частиц, космических излучений и радиационных поясов планеты. Научные приборы спускаемых аппаратов станций «Марс-6 и -7» были нацелены на изучение характеристик околопланетного пространства на участке спуска, физико-химических параметров атмосферы и некоторых свойств поверхности Марса: измерение химического состава, плотности, давления, температуры и скорости ветра атмосферы по высоте при спуске; получение двухцветной стереоскопической телепанорамы места посадки; исследование механических характеристик,



Системы и научное оборудование станций «Марс-4» и «Марс-5»: 1 – отсек научных приборов, 2 – остронаправленная параболическая антенна системы связи, 3 – газореактивные микродвигатели системы автономной ориентации, 4 – малонаправленные спиральные антенны системы связи (находятся за радиаторами системы терморегулирования), 5 – датчик Марса, 6 – звездный датчик, 7 – датчик Солнца, 8 – топливный бак двигательной установки, 9 – блок оптико-электронных приборов системы управления, 10 – баллоны с газом системы автономной ориентации, 11 – радиаторы системы терморегулирования, 12 – датчик Земли, 13 – панель солнечной батареи, 14 – магнитометр. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина

типа грунта и распределения в них элементов³. Комплекс научной аппаратуры и эксперименты подготовили В.И. Мороз, В.А. Краснопольский, К.И. Грингауз, В.Г. Курт, О.Л. Вайсберг, В.Г. Истомин, К.П. Флоренский, А.Т. Базилевский (ИКИ АН СССР), Ю.А. Сурков, Р.О. Кузьмин (ГЕОХИ им. В.И. Вернадского), Ш.Ш. Долгинов (ИЗМИРАН), С.Н. Вернов (НИИЯФ МГУ) и др.

Станции проекта М-73 создавались под руководством главного конструктора ОКБ, первого заместителя директора машиностроительного завода

им. С.А. Лавочкина, доктора технических наук С.С. Крюкова⁴. Одинаковые по конструкции АМС «Марс-4 и -5» (М-73С № 52, 53) высотой 3.8 м, диаметром 2 м и массой 4 т (из них масса топлива заправленной корректирующей двигательной установки составляла около 1.7 т) представляли собой орбитальные отсеки массой 2187 кг (научная аппаратура – 117.8 кг), в которых размещались системы и агрегаты, обеспечивающие работу станций на всех этапах полета: приборы систем автономного управления (бортовая цифровая вычислительная машина), ориентации, навигации, общей автоматики, связи (радиокомплекс), энергопитания (две солнечные панели размахом 5.9 м и буферная батарея), комбинированная система терморегулирования, двигательная установка, блок топливных баков (научная аппаратура находилась в ос-

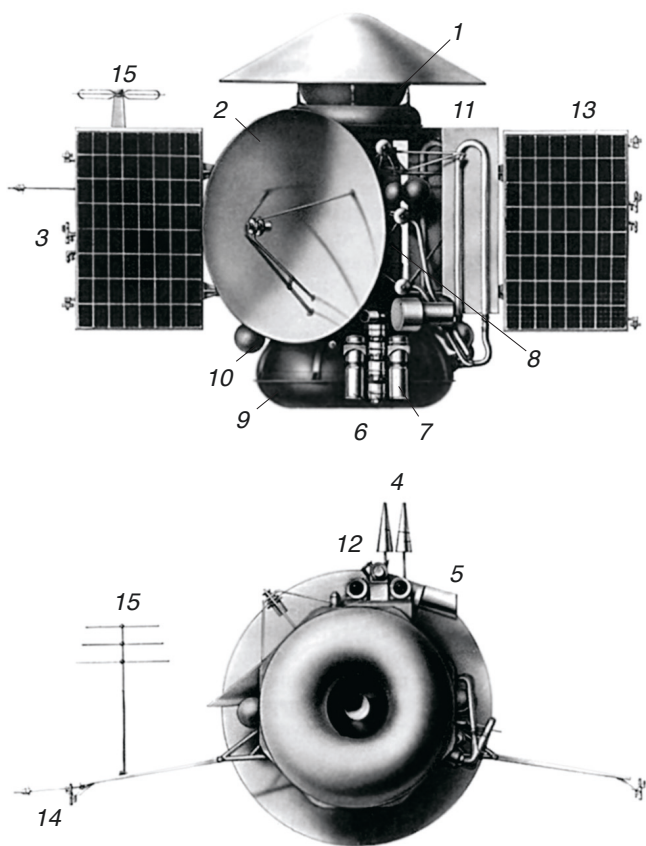
новном наверху блока). Двигательная установка состояла из многорежимного жидкостного ракетного двигателя многократного включения 11Д425А тягой 1105 кг (удельный импульс – 293 с) в режиме малой тяги, в режиме большой тяги – 1926 кг (удельный импульс – 315 с), который использовался для коррекции траектории перелета к Марсу и торможение станций при переходе на орбиту вокруг планеты.

В состав комплекса научной аппаратуры орбитальных отсеков «Марс-4 и -5» входили: узкополосный интерференционно-поляризационный фото-

³ Соколов С.С. Советские автоматические межпланетные станции исследуют Марс. Конструкция станций // Вестник АН СССР. 1974. № 10.

⁴ Герасютин С.А. Сподвижник С.П. Королёва – Сергей Сергеевич Крюков // Земля и Вселенная. 2018. № 6. С. 27–37.

метр ИВ-3 для изучения распределения водяного пара по диску планеты (1.38 мкм); двухканальный УФ-фотометр УФС-2 для измерения газового состава и плотности атмосферы; сканирующий ИК-спектрофотометр с интерференционными фильтрами (0.3–0.8 мкм) для изучения излучения верхних слоев атмосферы Марса; фотометр на полосу озона 2600 Å; двухканальный узкополосный УФ-фотометр ФКМ-73 с интерференционными фильтрами ближней инфракрасной области спектра (около 2 мкм) для изучения рельефа по распределению CO₂, распределения концентрации газа в атмосфере, яркостной температуры планеты и атмосферы; радиочастотный ИК-радиометр РА-71 дальней инфракрасной области спектра (8–26 мкм) для определения диэлектрической проницаемости, поляризации и температуры поверхности планеты; аппаратура двухчастотного радиозатменного эксперимента для регистрации высотных профилей ионосферных электронов и плотности тропосферы проводился путем радиопросвечивания на волнах 8 и 32 см; трехкомпонентный магнитометр СГ-70 для фиксации магнитного поля по трассе полета и вблизи планеты; многоканальный анализатор заряженных частиц РИЭП-2801 для измерения потоков электронов и протонов на трассе пере-

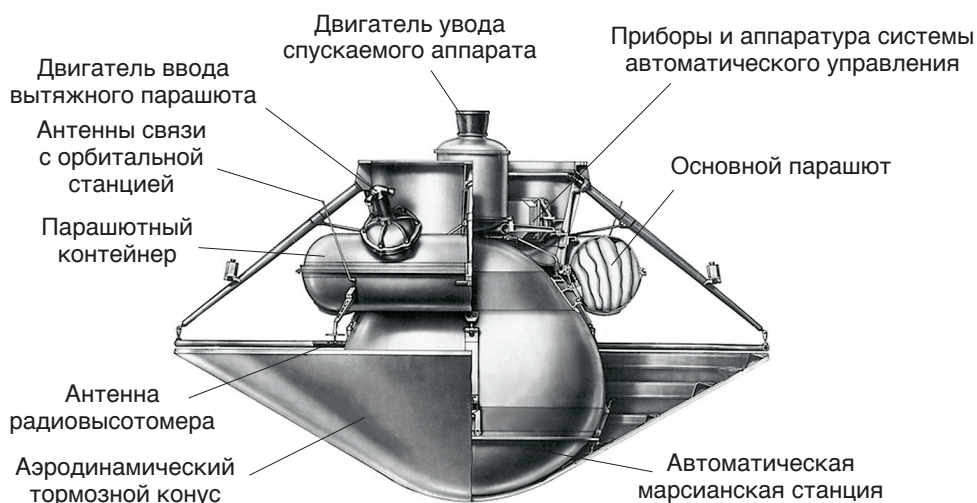


Системы и научное оборудование станций «Марс-6» и «Марс-7»: 1 – спускаемый аппарат под аэродинамическим экраном, 2 – остронаправленная параболическая антенна системы связи, 3 – газореактивные микродвигатели системы автономной ориентации, 4 – малонаправленные спиральные антенны системы связи, 5 – датчик Марса, 6 – звездный датчик, 7 – датчик Солнца, 8 – двигательная установка, 9 – приборный отсек в форме тора (на нижнем рисунке в его центре расположено сопло двигателя 11Д425А), 10 – баллоны с газом системы ориентации, 11 – радиаторы системы терморегулирования, 12 – датчик Земли, 13 – панель солнечной батареи, 14, 15 – радиоантенна и комплект аппаратуры французского эксперимента Stereo-5. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина

лета и у планеты; спектрометр ИСМ-73 для исследования инфракрасного спектра планеты в области 1.5–5.5 мкм (в частности, для поиска органических соединений); два поляриметра в девяти узких полосах 0.35–0.8 мкм,

в т. ч. видимого диапазона ВПМ-73 для исследований планеты с целью определения структуры поверхности; спектрофотометр ВСМ-73 для исследования спектров собственного свечения атмосферы Марса (2–5 мкм); фотометр для определения интенсивности рассеянного солнечного излучения в линии Лайман-альфа (1216 Å); детектор КС-18–5М для регистрации космических излучений и радиационных поясов планеты; гамма-спектрометр для измерения γ -излучения (0.4–0.76 мкм) планеты и космического фона на трассе перелета; радиотелескоп на длину волны 3.5 см; многоканальный электростатический анализатор. На «Марсе-4 и -7» также стояли плазменные ловушки⁵.

ставляла около 600 кг) содержали пролетные отсеки массой 2200 кг (масса научных приборов – 114 кг) и спускаемые аппараты массой около 1 т (при входе в марсианскую атмосферу – 844 кг, после посадки – 355 кг, в том числе приборов – 19.1 кг). Научная аппаратура «Марса-6 и -7» располагалась на коническом переходном элементе, соединяющем приборный отсек и блок баков пролетных отсеков, на его верхней части размещается спускаемый аппарат. Пролетные отсеки имели те же системы и агрегаты, что и орбитальные отсеки «Марса-4 и -5». В состав научной аппаратуры пролетных отсеков «Марс-6 и -7» вошли: радиочастотный радиометр РА-71 для регистрации



Устройство спускаемых аппаратов АМС «Марс-6» и «Марс-7». Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина

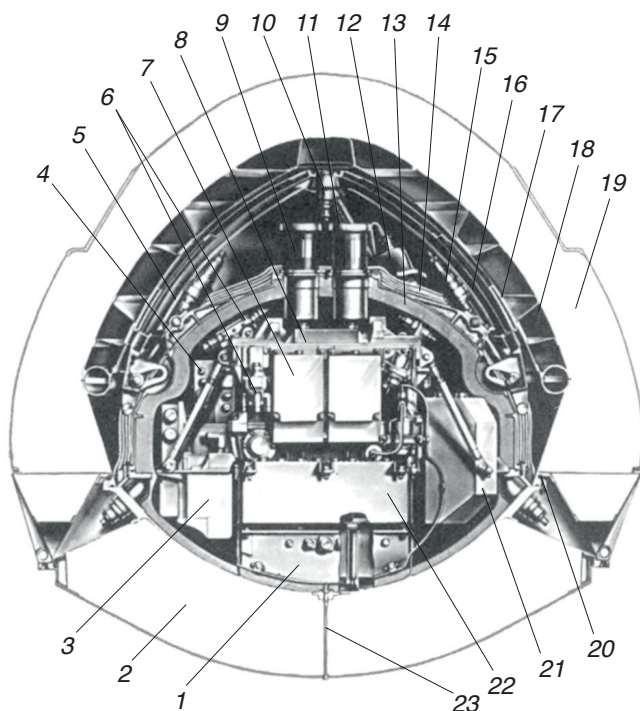
В отличие от «Марса-4 и -5», «Марс-6 и -7» (М-73П № 50, 51) высотой 4.1 м, диаметром 2 м и массой 3880 кг (из них масса топлива заправленной корректирующей двигательной установки со-

диэлектрической проницаемости, поляризации и температуры поверхности планеты; СИЭП для определения электрического поля в межпланетной среде и у планеты; детектор МММ-73 для изучения пространственной плотности метеорных частиц; французские анализаторы Жето-Т для исследования солнечного ветра и Жето-5 – спектра и состава солнечных космических

⁵ Автоматические межпланетные станции «Марс-4, -5, -6, -7». Сайт НПО им. С.А. Лавочкина: <https://www.laspaces.ru/projects/planets/mars-4-7/>

лучей при перелете к Марсу; детектор КМ-73 для исследования спектра и состава солнечных космических лучей, комплект аппаратуры французского эксперимента Stereo-5 (две антенны для приема радиоизлучения на частотах 30 и 60 МГц, усилители, приемник, блоки памяти и система сжатия данных). Французские ученые приняли участие также в поляриметрическом эксперименте и в измерениях излучения Лайман-альфа⁶.

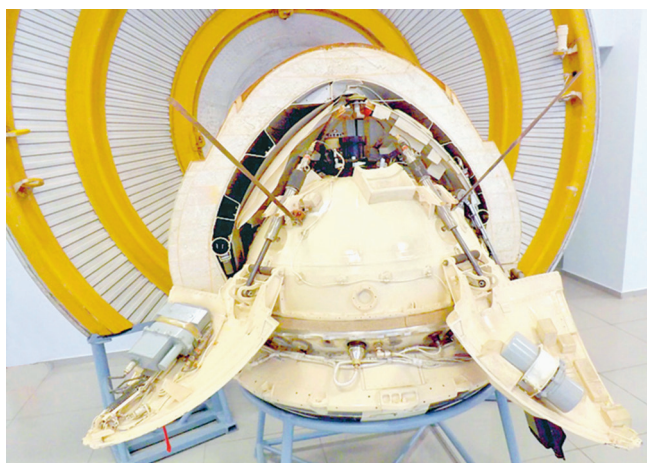
В спускаемый аппарат «Марса-6 и -7» входили автоматическая марсианская станция в форме шара диаметром 1.2 м (целиком покрыта пеноматериалом толщиной 20 см), тормозной аэродинамический экран диаметром 2.9 м, тороидальный контейнер с парашютно-реактивной системой, состоящей из парашюта и двигателя мягкой посадки, а также соединительной рамы с системами, которые управляют движением аппарата на этапе отделения его от пролетного отсека. В верхней части аппарата находились два отверстия для двух телефотометров (фотокамер) и четыре разворачиваемых гибких антенны для связи с орбитальным аппаратом. Передвижное



Системы и научное оборудование посадочных аппаратов «Марс-6 и -7»: 1 – радиовысотомер, 2 – амортизатор, 3 – блок телеметрической системы, 4 – автоматика радиосистемы, 5 – антенна системы связи, 6 – радиосистема, 7 – блоки питания радиосистемы, 8 – блок научных приборов, 9 – телекамеры, 10 – замок (стопорный штифт) раскрытия лепестков-опор, 11 – система разворачивания научных приборов, 12 – датчики научных приборов, 13, 14 – внутренняя и внешняя теплоизоляция, 15 – механизм раскрытия лепестков-опор, 16 – четыре лепестка-опоры для принятия аппаратом вертикального положения, 17 – баллон для наполнения воздушного колпака, 18 – воздушный колпак, 19 – воздушная оболочка-амортизатор, 20 – баллон с газом для наполнения воздушной оболочки, 21 – система управления, 22 – аккумуляторные батареи, 23 – датчик давления. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина

⁶ Космические аппараты «Марс-4, -5, -6 и -7». Секция Совета РАН по космосу: http://stp.cosmos.ru/index.php?id=1163&tx_ttnews%5Bttnews%5D=1328&cHash=bcc264ffb42921a3b9c5da12c720980d

устройство (прибор ПрОП-М) укреплялось на конце откидной раскрываемой штанги. Посадочный аппарат питался от аккумуляторов, заряженных от космической станции до его отделения. Твердотопливный ракетный двигатель с четырьмя микросоплами крепился по сторонам верхней половины тора и предназначался для ввода вспомога-



Макет посадочного аппарата АМС «Марс-6 и -7» с раскрытыми лепестками-опорами и телекамерами (сверху), покрытый пеноматериалом толщиной 20 см, сзади расположен тормозной аэродинамический экран диаметром 2.9 м. Музей НПО им. С.А. Лавочкина

тельного тормозного парашюта площадью 13 м². При его включении верхняя половина тора отделялась и увлекала за собой тормозной парашют, который, в свою очередь, вытягивал основной парашют площадью 140 м², стропы которого соединялись с нижней половиной тора. Твердотопливные ракеты, использующиеся на финальной стадии спуска, размещались на нижней половине тороидального контейнера в направлении строп. Радиовысотомер располагался внутри посадочного аппарата в нижней части приборного отсека.

С целью проведения исследований на участке парашютного спуска и непосредственно на поверхности Марса спускаемые аппараты «Марс-6 и -7» были оснащены научным комплексом: датчиком ИТД для измерения температуры и давления марсианской атмосферы; масс-спектрометром газоанализатором МХ-6408М для определения химического состава атмосферы; автоматической активационной лабораторией ААЛ-2М для определения типа поверхностных пород; прибором

ИПС для регистрации скорости движения и плотности атмосферы; двумя телефотометрами (фотокамерами) для получения панорамных фотоснимков и шагающим механизмом ПрОП-М на штанге с кабелем для определения механических свойств и прочности поверхностного слоя грунта, он способен отойти от аппарата до 15 м.

Аэродинамический экран имеет форму затупленного конуса, что обеспечивает необходимое торможение в атмосфере Марса. Лобовая сторона экрана покрыта теплозащитным материалом, предохраняющим от

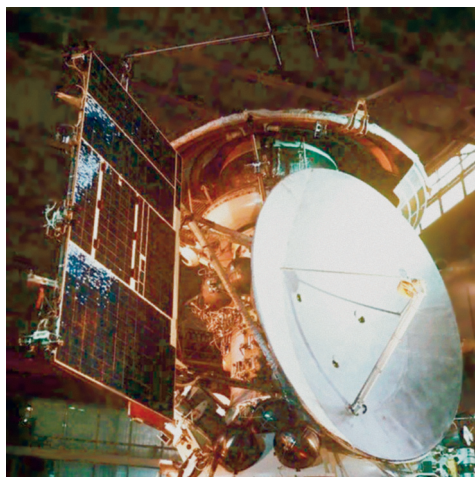
воздействия высокотемпературных потоков при аэродинамическом торможении. В донной части экрана, защищенной от влияния скоростного напора и высокой температуры набегающего потока, размещаются автоматическая марсианская станция и парашютно-реактивная система мягкой посадки. Для поглощения энергии, возникающей при соприкосновении с поверхностью планеты, марсианская станция оборудована специальной амортизационной системой⁷.

В аппаратуру бортового радиофототелеметрического комплекса орбитальных аппаратов «Марс-4 и -5» входили антенно-фидерная система, приземные и передающие устройства, приборы автоматики, программно-временное устройство, приборы фототеле-

⁷ Автоматические межпланетные станции «Марс-4, -5, -6, -7». Сайт НПО им. С.А. Лавочкина: <https://www.laspace.ru/projects/planets/mars-4-7/>; АМС «Марс» // Ежегодник Большой советской энциклопедии. Вып. 18-й. М.: Советская энциклопедия, 1974. С. 521–523. Проект М-73: <http://galspace.spb.ru/index435-3.html>

визионной и телеметрической систем и аппаратура для приема информации со спускаемого аппарата. С помощью радиокomплекса на всех этапах полета производились измерения с целью уточнения местоположения станции и расчета параметров, необходимых для коррекции ее траектории. Управление станциями было комбинированным, т. е. оно осуществляется как с помощью принятых с Земли радиокоманд, так и команд, выработанных бортовым программно-временным устройством. В течение полета велась запись научной и служебной телеметрической информации на запоминающее устройство, с последующей передачей данных на Землю в сеансах связи. После входа спускаемого аппарата в плотные слои атмосферы и начала работы его основной радиолинии на орбитальном аппарате велись прием и запись на видеомангитофоны всей информации, получаемой на участке парашютирования. Ретрансляция информации со спускаемого аппарата на Землю велась с использованием приборов орбитального аппарата, включая параболическую антенну. Антенно-фидерная система каждого из орбитальных аппаратов «Марс-4 и -5» и пролетных отсеков «Марс-6 и -7» состояла из остронаправленной параболической антенны, трех малонаправленных антенн и двух антенн для приема информации со спускаемых аппаратов «Марс-6 и -7» при их посадке на Марс.

В систему управления ориентацией всех станций входили оптико-электронные приборы ориентации на Солнце, на Землю и звезду, гироскопические датчики угловых скоростей и другая аппаратура. После выведения станции на перелетную траекторию полета и отделения ее от последней ступени ракеты-носителя система ориентации гасила возникающие при расцепке угловые скорости, прекращала беспорядочное

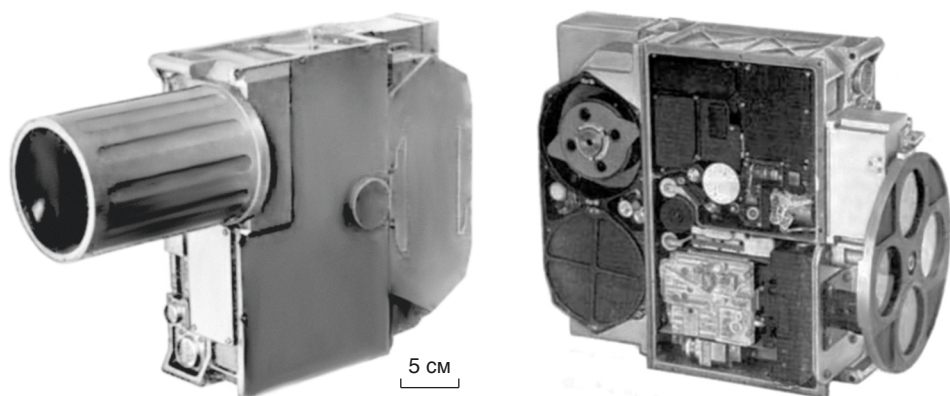


Межпланетная станция «Марс-6» в цехе сборки НПО им. С.А. Лавочкина. 1973 г.
Фото НПО им. С.А. Лавочкина

вращение станций и путем их разворота осуществляет «поиск» Солнца и «захват» его, тем самым приводя станцию в режим «постоянной солнечной ориентации». При этом панели солнечных батарей оказывались ориентированными на Солнце, а малонаправленных антенн – на Землю, обеспечивая необходимые условия для радиосвязи с Землей. При выполнении коррекций траектории станции переводились в режим точной трехосной ориентации: в дополнение к ориентации на Солнце проводится «поиск» и «захват» звезды⁸.

В течение всего полета станций информация с измерительных пунктов поступала в координационно-вычислительный центр Наземного командно-измерительного комплекса для обработки и последующего представления ее в Центр управления, где группа специалистов по различным системам производила анализ их функционирования

⁸ Соколов С.С. Советские автоматические межпланетные станции исследуют Марс. Радиокomплекс. Система управления ориентацией // Вестник АН СССР. 1974. № 10.

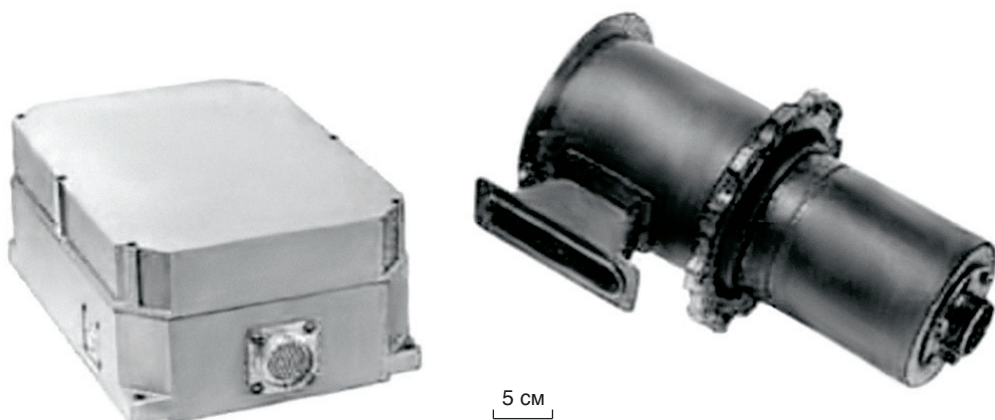


Фототелевизионные устройства: слева – с широкоугольным короткофокусным объективом «Вега-ЗМСА», револьверным механизмом и со светофильтрами, справа – с длиннофокусным зеркально-линзовым объективом «Зуфар-ЗСА». НИИ космического приборостроения

и разрабатывала рекомендации по управлению. Приблизительно за двое суток до прилета каждой станции их положение относительно Марса определялось с помощью бортового оптико-электронного прибора, результаты измерений обрабатывались БЦВМ, которая рассчитывала параметры последней коррекции и управляла ее исполнением. Управление полетом станций производился наземным радиотехническим комплексом «Плутон», расположенным на НИП-16 близ Евпатории. При приеме информации с космических аппаратов на больших расстояниях для повышения потенциала радиолинии применено суммирование сигналов с двух антенн АДУ-1000 и одной антенны КТНА-200. Выдача команд осуществляется через антенны АДУ-1000 и П-400П на второй площадке НИП-16. Обе антенны оснащены передатчиками дециметрового диапазона «Гарпун-4», способными излучать мощность до 200 кВт.

На орбитальных отсеках «Марса-4 и -5» находились по два фототелевизионных устройства (ФТУ) и по две однострочные оптико-механические панорамные камеры (ОМС) с углом

сканирования 30° для проведения обзорной съемки в оранжевом, красном и инфракрасном диапазонах. Шторный фотозатвор ФТУ имел выдержки 1/150 и 1/50 с, использовалась фотопленка с большей контрастной чувствительностью шириной 25.4 мм и размером кадра 23×22.5 мм, рассчитанная на 440 кадров, которая обрабатывалась на борту. Блок химико-фотографической обработки ФТУ обеспечивал проявление и сушку экспонированных участков пленки. Считывание изображения, полученного на пленке, производилось путем просвечивания ее световым пучком, отклоняющимся с помощью оптико-механического устройства. Помимо основного режима передачи изображений по линии связи на Землю с номинальной четкостью 1000 строк, в кадре имелись также режимы передачи с четкостью 2000, 250 и 64 строки. В ФТУ совмещены функции снимающего и запоминающего устройств, что обусловлено способностью фотопленки хранить изображение. Для съемки в ближнем инфракрасном участке спектра использовался другой тип телевизионной системы – ОМС, или те-



Оптико-механическая панорамная камера-сканер (телефотометр) и запоминающее устройство (слева). НИИ космического приборостроения.

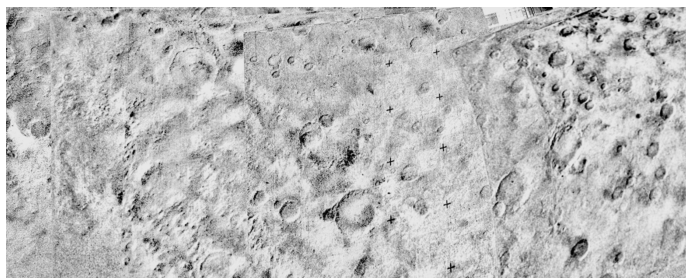
лефотометр. В ОМС с помощью собирающей оптической системы с малым мгновенным углом зрения сканируется путем механического перемещения оптических элементов определенный участок поверхности объекта по одной координате. Сканирование по другой координате производится за счет движения спутника, хорошо ориентированного в пространстве и относительно планеты. При этом ОМС обеспечивают передачу панорамного изображения поверхности планеты. Широкоугольное ФТУ снабжалось набором сменных светофильтров, ОМС имели постоянные, но отличающиеся по характеристикам светофильтры, которые обеспечивали максимальное разрешение порядка нескольких километров. Основной режим съемки в перицентре осуществлялся при постоянной солнечно-звездной ориентации спутника при высоте Солнца над местным горизонтом $15\text{--}35^\circ$. В ФТУ использовался широкоугольный короткофокусный объектив «Вега-ЗМСА» массой 8.5 кг и длиннофокусный зеркально-линзовый объектив «Зуфар-2СА» массой 9.2 кг. Сканирование ОМС производилось перпендику-

лярно направлению полета, панорамная развертка осуществлялась за счет движения по орбите станции, жестко ориентированной в пространстве⁹. Разработал фотоаппаратуру доктор технических наук А.С. Селиванов (НИИ космического приборостроения)¹⁰.

10 февраля 1974 г. вследствие нарушения в работе одной из бортовых систем «Марса-4» тормозная двигательная установка не включалась. В это время на Марсе была осень, атмосфера оказалась прозрачной для съемки. При пролете мимо планеты с юго-запада на северо-восток станция провела один сеанс фотографирования, получено 14 снимков Марса: 12 кадров с помощью ФТУ «Вега» и 2 панорамы двух областей поверхности Марса в оранжевом и инфракрасном диапазонах с ОМС на дальностях 1900/2100 км в масштабе 1:5 млн. За 5 дней до подлета к Марсу оказалось неисправным ФТУ «Зуфар» с длиннофокусным объективом, по-

⁹ Фотографическая аппаратура АМС «Марс-4 и -5»: <http://sovams.narod.ru/index.html>; <http://galspace.spb.ru/index435-3.html>

¹⁰ Гектин Ю.М. Человек, позволивший нам увидеть другие миры // Земля и Вселенная. 2022. № 3, С. 83–93.



Панорама марсианской поверхности из 12 кадров, снятых 10 февраля 1974 г. за один сеанс (около 6.5 ч) с разными выдержками ФТУ с объективом «Вега-ЗМСА» АМС «Марс-4». На панораме запечатлена северо-восточная часть бассейна Аргир диаметром около 1000 км с несколькими крупными кратера диаметром 75–130 км

этому не включалось. Съемка велась через красный светофильтр с темпом 35 с/кадр и чередующимися выдержками 1/50 и 1/150 с. Параллельно шла запись исходных сигналов на ленточные магнитные запоминающие устройства, информация с которых в дальнейшем использовалась для высококачественной обработки изображений цифровыми методами на ЭВМ. Снимки получались хорошего качества, их максимальное разрешение 710 м. Район съемки с ФТУ «Вега» располагался в Южном полушарии Марса, в основном к западу от нулевого меридиана в пределах 24–47° ю.ш. и 47° з.д. – 10° в.д., простирается с юго-запада на северо-восток на 2800 км и занимает площадь 2.2 млн км² (~1.5% площади поверхности Марса). Все 12 снимков имеют значительное перекрытие, поэтому многие объекты на снимках повторяются по несколько раз. В поле зрения ФТУ попал район со следующими объектами: северо-восточная часть светлой равнинной бассейна Аргир – крупная кольцевая структура диаметром около 1000 км, горы Нерейд, кратеры Фогель (диаметр 120 км), Хэйл (130 км) и Бонд (90 км), долина Узбой длиной 366 км с широкой линейной депрессией,

тянущейся от кратера Бонд к Хэйл и далее – к кратеру Архангельский (117 км)¹¹.

С помощью фотометра УФС-2 с высоким пространственным разрешением получены фотометрические профили атмосферы у лимба планеты в недоступной для наземных наблюдений области спектра 2600–2800 Å. «Марс-4» после пролета оказался на короткое время в радиотени, что

позволило провести двухчастотное радиопросвечивание атмосферы Марса, установлено, что основной максимум ионизации находится на высоте 110 км, концентрация электронов соответствует $4.6 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$.¹² В ходе полета «Марс-4» по трассе Земля–Марс с помощью спектрометров ионов и электронов зарегистрированы энергия частиц солнечного ветра, их состав, температура и скорость отдельных компонентов солнечной плазмы, а также определены параметры межпланетных магнитных полей.

12 февраля 1974 г. «Марс-5» был введен на орбиту вокруг Марса с пара-

¹¹ Флоренский К.П., Базилевский А.Т., Кузьмин Р.О., Черная И.М. Результаты геолого-морфологического анализа некоторых фотографий марсианской поверхности, полученных автоматическими станциями «Марс-4» и «Марс-5» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 67–76. Изображения поверхности Марса, полученные фототелевизионными установками АМС «Марс-4 и -5»: <http://sovams.narod.ru/Mars/1973/images.html>

¹² Васильев М.Б., Вышков А.С., Колосов М.А., Савич Н.А. и др. Предварительные результаты двухчастотного радиопросвечивания ионосферы Марса при помощи станций «Марс» в 1974 г. // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 48–53.

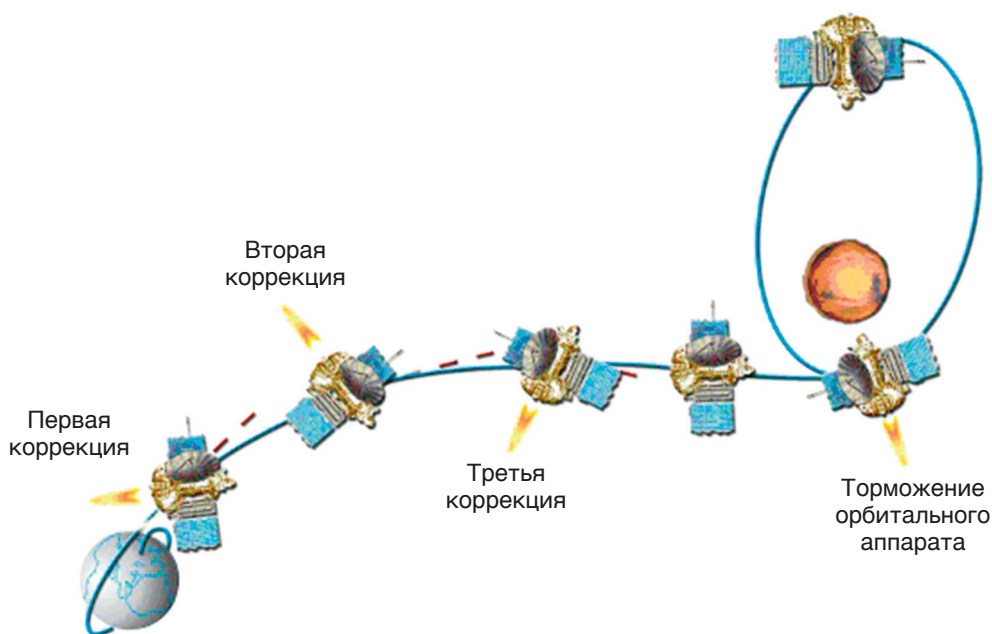
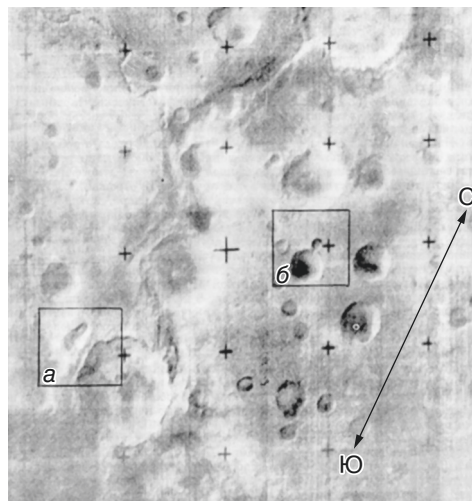


Схема траектории полета и выхода на орбиту искусственного спутника Марса АМС «Марс-5» 12 февраля 1974 г.

метрами: высота в перигеуме 1760 км, высота в апогее 32 586 км, наклонение $\sim 35^\circ$, период обращения 1492,5 мин (24 ч 52 мин 24 с) при расчетном периоде 1440 мин. Орбита была выбрана таким образом, чтобы «Марс-5» пролетал в светлое время суток над районом, избранным для посадок спускаемых аппаратов «Марс-6 и -7». Однако сразу после выхода на орбиту произошла разгерметизация приборного отсека, в котором располагались электронные блоки служебных систем и научной аппаратуры. Разработчики предположили, что на этапе торможения или сразу после него аппарат столкнулся с микрометеором. В связи со значительным уменьшением срока работы станции на орбите началось спешное выполнение научной программы. Камеры ФТУ успели израсходовать 108 кадров из имеющихся 960, вследствие спешки многие кадры не удались. Последний сеанс связи состоялся 28 февраля

1974 г., поэтому исследования «Марсом-5» выполнены не в полном объеме.

Трассы измерений «Марса-5» проходили через области Araxes и Claritas, южнее Solis Lacus, затем через Thaumasia, Mare Erythraeum и кончались в Pyrrhae, где произвел посадку спускаемый аппарат «Марс-6». Всего было проведено семь полноценных сеансов измерений и получены результаты для семи трасс. Несмотря на короткий срок активного существования, выполнены следующие исследования: двухчастотное радиопросвечивание атмосферы Марса (получены оценки давления в нижней атмосфере 0,4–0,87 кПа), а также характеристики атмосферы и ионосферы планеты; изучены свойства поверхности и грунта по их радиационным характеристикам; с помощью инфракрасного радиометра зарегистрированы яркостные температуры грунта вдоль трассы полета спутника; ИК-спектрофотометр получил



Мелкомасштабный снимок поверхности Марса, полученный ФТУ с объективом «Вега-ЗМСА» АМС «Марс-5». Видны полуразрушенные кратеры диаметром до 150 км. Основные кратеры соединены между собой высохшим руслом потоков шириной 25–35 км. С северо-запада в него «впадает» более узкое, 5–7 км, извилистое русло. Остальная часть поверхности покрыта многочисленными кратерами правильной формы диаметром от 20 до 70 км. Все кратеры имеют слабые возвышенности по краям. Справа (квадрат а) – морская область с частью крупного кратера глубиной около 1 км, дно которого испещрено многочисленными образованиями размером порядка 1 км. Западнее него расположен вытянутый эродированный кратер размером 40 × 20 км, внутри которого, помимо небольших кратеров с севера на юг, просматривается несколько протяженных валов. В квадрате б находятся кратер диаметром 45 км и кратер-спутник меньшего размера, имеющие пологие склоны с вкраплениями мелких кратеров размером от 2 до 15 км

несколько сотен спектров в интервале 2–5 мкм с целью определения состава марсианского грунта и его структуры, а гамма-спектрометр – спектры излучения марсианских пород; измерено содержание водяного пара в атмосфере Марса; с помощью фотометра обнаружено наличие озона в атмосфере Марса; получены детальные данные о температуре верхней атмосферы планеты, параметрах межпланетных магнитных полей и магнитного поля Марса. Магнитометр СГ-70 «Марса-5» зарегистрировал напряженность магнитного поля Марса в 7–10 раз превышающего межпланетное магнитное поле, что почти в тысячу раз слабее магнитного поля Земли. На дневной стороне Марса магнитное поле простирается до высоты

2 тыс. км, на ночной стороне – до высоты почти 10 тыс. км. Причина явления – во влиянии на магнитосферу Марса потока солнечного ветра из заряженных частиц, который «сдувает» слабое магнитное поле, придавая ему форму, вытянутую на ночную сторону¹³. Пограничный слой ускользающих атмосферных ионов зарегистрирован на высоте 1600 км. Измеренный «Марсом-5» поток уносимых солнечным ветром ионов настолько велик, что он привел к большим потерям марсианской атмосферы

¹³ Долгинов Ш.Ш., Ерошенко Е.Г., Жузгов Л.Н. Магнитное поле планеты Марс по данным спутников «Марс-3» и «Марс-5» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 108–112.

за время существования планеты, по оценкам, темп потери вещества (тяжелых ионов) из атмосферы составляет около 250 г/с, то есть Марс теряет и без того тонкую атмосферу, ее остатки сдувает в космос солнечный ветер, в результате в космос улетают 100 г/с атмосферного кислорода, углекислого газа и влаги¹⁴. Радиометр РА-71 измерял температуру поверхности планеты вдоль трассы орбиты, с его помощью установлено, что вблизи экватора вскоре после полудня температура достигает 278–261 К (+5–12 °С). Однако уже к 6 часам вечера местного времени она снижается до 243 К (–30 °С), а через 3–4 ч падает до 218 К (–55 °С). Вдоль трассы наблюдаются колебания температуры до 5–8°, что объясняется неодинаковым поглощением солнечных лучей темными и светлыми участками (минимальные температуры на полюсах Марса могут достигать 153 К или –120 °С)¹⁵. С помощью фотометра ФКМ-73 на углекислотных полосах ИК-спектра найдены перепады высот вдоль трассы, составляющие несколько километров, в УФ-диапазоне также удалось обнаружить пониженные и повышенные участки поверхности, так проверены два независимых способа исследования рельефа. Анализ яркости в других диапазонах волн дал сведения о малой запыленности марсианской атмосферы по сравнению с периодом бури в ноябре-декабре 1971 г. Фотометр УФС-2 и масс-спектрометр МХ 6408М измерили газовый состав атмосферы: 95.27% углекислого

газа, 2.74% азота, 1.73% инертных газов (аргона), 0.13% кислорода, 0.08% окись углерода, 0.021% водяного пара, соотнесенные доли оксида азота. Предварительная оценка показала, что во время спуска зафиксировано большое количество инертных газов в атмосфере, в основном аргона – около 35%, что оказалось неверным из-за аномально быстрого тока ионизационного насоса масс-спектрометра, а сами масс-спектры после посадки были потеряны. Средняя плотность атмосферы равна 0.02 кг/м³ (в 61 раз меньше земной). Измерения физических свойств поверхности выполняли два поляриметра «Марс-5» совместно советскими и французскими учеными. Оказалось, что поверхность планеты очень неоднородна, есть участки, покрытые мелкой пылью, а рядом – обширные каменистые районы, рельеф вдоль трассы изобилует большими перепадами высот и несколькими горными цепями высотой 8–11 км. Средняя плотность грунта около 1.22 г/см³ на глубине 2–4 см, пористость около 60%. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят, по-видимому, узнать, какие земные горные породы наиболее близки марсианским. Измерения водяного пара в атмосфере Марса показали, что его содержание превысило в 3–5 раз максимальное количество, обнаруженное «Марсом-3» в 1972 г., и достигло 60–70 мкм осадочной воды (на Земле в 200–1000 раз больше), установлено, что вдоль трассы «Марс-5» величина влажности колеблется более чем в 5 раз¹⁶. С помощью ФКМ-73 с высоким пространственным разрешением получены фотометрические профили атмосферы у лим-

¹⁴ Вайсберг О.Л., Богданов А.В., Смирнов В.Н., Романов С.А. Первые результаты измерений потоков ионов прибором «РИЭП-2801 М» на АМС «Марс-4» и «Марс-5» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1.

¹⁵ Мороз В.И. Предварительные результаты исследований, проведенных на советских автоматических станциях «Марс-4», «Марс-5», «Марс-6» и «Марс-7» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 3–8.

¹⁶ Мороз В.И., Наджип А.Э. Предварительные результаты измерений содержания водяного пара в атмосфере планеты по измерениям с борта АМС «Марс-5» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 33–36.



Панорама марсианской поверхности из 12 кадров, снятых 26 февраля 1974 г. за пятый сеанс (3,5 ч) с разными выдержками ФТУ «Вега» АМС «Марс-5». Это район к югу от экватора, на панораме можно различить Босфорское плато, уступ Озиги длиной около 300 км, северная часть вала светлой равнинной поверхности днища бассейна Арзир – горы Нерейд и кратер Лампланд диаметром 79 км в Тавмасийском треугольнике (*Thaumasia quadrangle*)

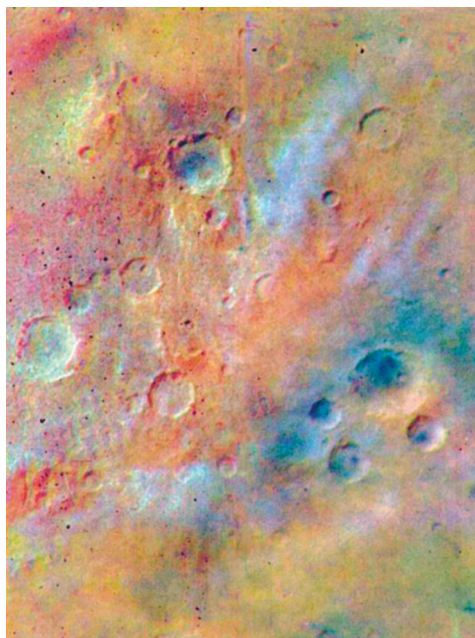
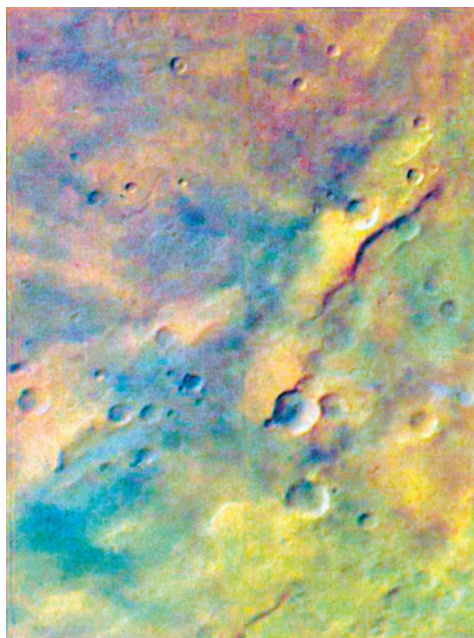
ба планеты в недоступной для наземных наблюдений области спектра 2600–2800 Å. Эти профили помогли впервые обнаружить следы озона в атмосфере Марса (данные американских аппаратов *Mariner-6*, -7 и -9 по озону относились к твердой поверхности полярной шапки) и вычислить характеристики аэрозольного слоя, а также заметное аэрозольное поглощение даже в отсутствии пылевых бурь. Озоновый слой зафиксирован на высоте около 40 км, его концентрация на три порядка ниже, чем на стратосфере Земли (2–8 частей на миллион)¹⁷. Содержание атмосферного озона позволило оценить концентрацию атомарного кислорода в нижней атмосфере и скорость его вертикального переноса из верхней атмосферы, что важно для выбора модели, объясняющей стабильность существующей на Марсе атмосферы из углекислого газа. Исследования магнитного поля

в пространстве около Марса, проведенные станцией «Марс-5», подтвердили вывод о том, что вблизи планеты существует магнитное поле порядка 30 гамм (в 7–10 раз больше величины межпланетного невозмущенного поля, переносимого солнечным ветром). Впервые измерена температура атомарного водорода в верхней атмосфере Марса, она близка 196 К (–77 °C). Во время полета по трассе Земля – Марс определены энергии частиц солнечного ветра, температура и скорость отдельных компонентов солнечной плазмы, определен состав частиц¹⁸.

Орбитальный аппарат «Марс-5» передал четыре панорамы и провел пять сеансов съемки 17, 21, 23, 25 и 26 февраля 1974 г., в четырех – с помощью обоих ФТУ, это позволило получить в общей сложности 108 кадров, содер-

¹⁷ Краснопольский В.А., Крысько А.А., Рогачёв В.Н. Озон в атмосфере планеты по измерениям с борта АМС «Марс-5» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 37–41.

¹⁸ Исследование Марса // Освоение космического пространства в СССР в 1973 г. М.: Наука, 1975. С. 215–246. Ксанфомалити Л.В. Марс-5: поверхность и атмосфера красной планеты // Земля и Вселенная. 1974. № 5. С. 7–11. Красные пески Марса // Ксанфомалити Л.В. Парад планет. М.: Наука, Физматлит, 1997. С. 92–123.



Цветные синтезированные изображения марсианской поверхности: 6 снимков в серии из 12 кадров, снятых 26 февраля 1974 г. в течение пятого сеанса связи ФТУ «Вега» АМС «Марс-5» с номинальным разрешением на разных выдержках во время съемки через разные фильтры. На левом снимке попали в кадр несколько кратеров в районе Босфорского плато протяженностью с юго-запада на северо-восток около 730 км. На правом – запечатлена северная часть вала в Тавмасийском треугольнике с кратером Лампланд диаметром 79 км

жащих только 43 снимка нормально-го качества, в том числе 15 с помощью короткофокусной «Вега» и 28 – длинно-фокусной «Зуфар». С помощью сканера ОМС сделано пять панорам поверхности. На одной из них, сшитых из 12 кадров, сделанных ФТУ «Вега» за пятый сеанс 26 февраля 1974 г. район фотографирования располагался в Южном полушарии Марса, к западу от нулевого меридиана в пределах 27–43° ю.ш. и 94–45° з.д., он протекает практически по курсу предыдущего сеанса съемки, но примерно в 600 км западнее от него, простирается с запада на восток на 2200 км и занимает площадь 1.6 млн км² (~1,1% площади поверхности Марса). Время передачи – около 3.5 ч. В поле зрения попал район к югу от экватора, последовательно охватив

следующие наиболее важные объекты на поверхности Марса: Босфорское плато, уступ Оигиги длиной около 300 км, северную часть вала светлой равнинной поверхности днища бассейна Аргир – горы Нерейд и кратер Лампланд диаметром 79 км. Некоторые фотографии «Марса-5» сопоставимы по качеству со снимками американской ИСМ *Mariner-9*, указывающие на эрозию, вызванную текущей водой. Первое из этих изображений, сделанных обеими телекамерами, было опубликовано осенью 1974 г. в журнале АН СССР. С помощью цветных светофильтров путем синтеза негативов получены цветные изображения ряда участков поверхности Марса, отличающиеся высоким качеством, они пригодны для ареолого-морфологических и фотометриче-

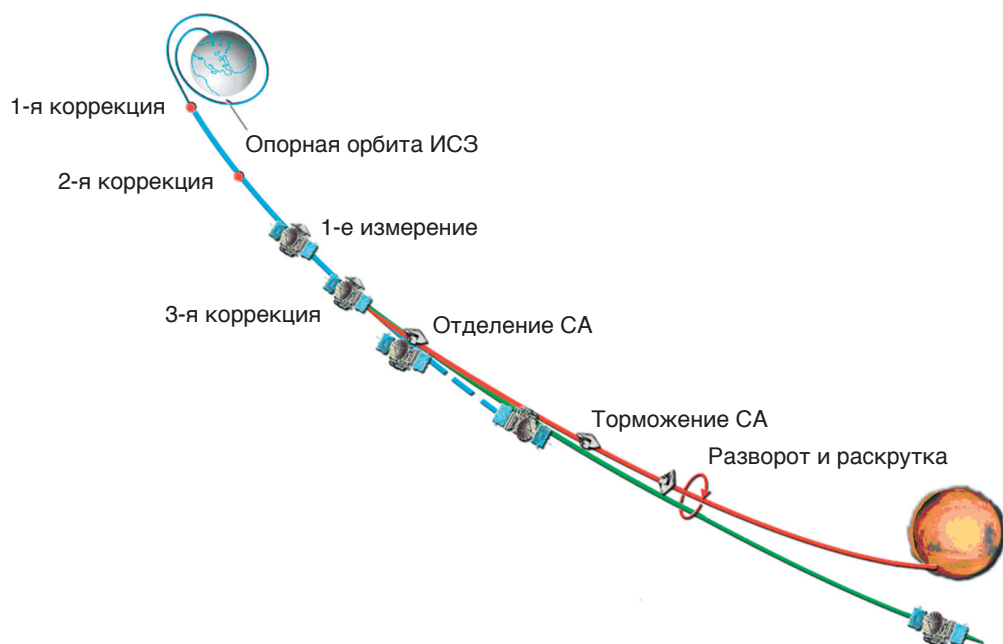


Схема межпланетной траектории полета АМС «Марс-6» 5 августа 1973 г. – 12 марта 1974 г.

ских исследований. На снимках можно различить детали размером до 100 м: множество кратеров, иногда на их рельеф наложены извилистые линейные понижения, уступы и борозды. Разную степень разрушения объясняют различия в их возрасте¹⁹. Среди значительных достижений «Марса-5» получение данных о химическом составе горных пород. Предполагалось, что «Марс-5» будет действовать в качестве ретранслятора данных со спускаемых аппаратов «Марс-6» и «Марс-7», но в марте 1974 г. он уже не был на связи.

¹⁹ Соколов С.С. Советские автоматические межпланетные станции исследуют Марс. Научное оснащение станций: предварительные результаты // Вестник АН СССР. 1974. № 10. Селиванов А.С., Нараева М.К., Суворов Б.А. и др. Аппаратура и некоторые результаты фотографических исследований на автоматических станциях «Марс-4» и «Марс-5» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 60–66.

В 1976 г. ЦНИИГАиК по материалам фотосъемки АМС «Марс-5» составил карту участка планеты в масштабе 1:5 млн, охватывающую примерно 5% поверхности Марса, а также карты отдельных фрагментов поверхности в масштабе 1:500 тыс. Подготовлены также геолого-морфологические карты района съемки по данным АМС «Марс-4 и -5».

Почти сразу же после перевода «Марс-6» на траекторию полета к Марсу вышел из строя первый комплект бортового магнитофона ЭА-035, ситуацию исправили переключением на второй комплект. Однако 3 сентября 1973 г. отказала телеметрия, в результате чего стало невозможно получать информацию в режиме непосредственной передачи по дециметровому каналу, а по сантиметровому передавалась информация только в режиме воспроизведения, причем только информацию с ФТУ и видеоманитофона. Пришлось изме-

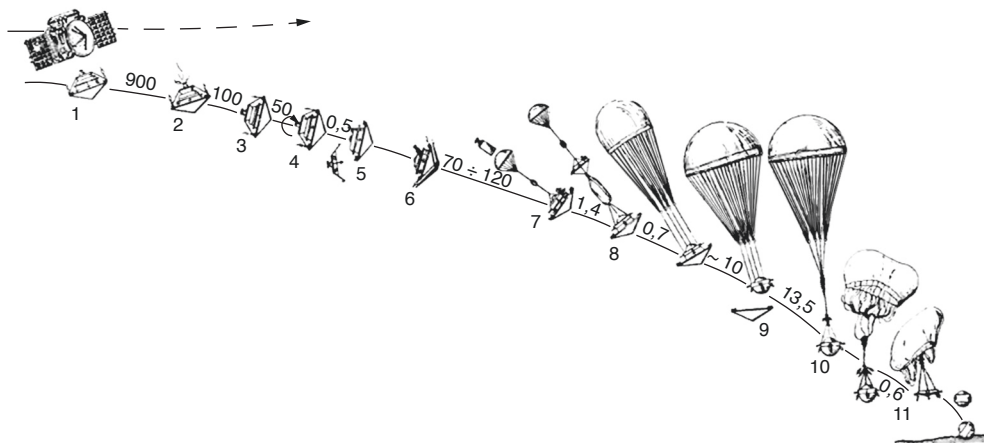


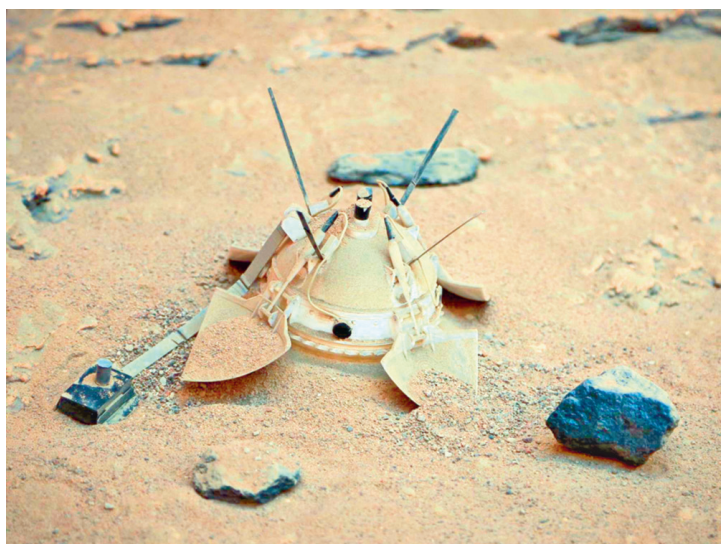
Схема спуска спускаемого аппарата АМС «Марс-6» в атмосфере Марса:

1 – отделение спускаемого аппарата; 2 – включение ракетного двигателя твердого топлива; 3 – программный разворот спускаемого аппарата; 4 – закрутка спускаемого аппарата; 5 – отделение фермы; 6 – прекращение закрутки, подача питания на радиовысотомер; 7 – начало введения парашютной системы, включение программно-временного механизма, подача питания на научную аппаратуру; 8 – введение основного парашюта, включение телеметрии, программно-временного устройства, радиокомплекса и научной аппаратуры; 9 – разрифовка парашюта, отделение аэродинамического конуса, включение радиовысотомера больших высот; 10 – расчехловка крепления тормозной двигательной установки, перецепка парашютной системы; 11 – включение тормозной двигательной установки, конец передачи информации на пролетный аппарат. На схеме указано время в секундах до посадки. Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина

нить технологию управления и в течение всего перелета выдавать все команды по два-три раза «вслепую», контролируя их прохождение только по косвенным признакам. От «Марса-6 и -7» после выполнения последней коррекции были отделены спускаемые аппараты, а сами станции совершили пролет мимо Марса.

12 марта 1974 г., через 15 мин после отделения сработал тормозной двигатель спускаемого аппарата «Марс-6», спустя 3.5 ч он вошел в атмосферу Марса со скоростью 5.6 км/с, угол входа составил -11.7° . Сначала торможение шло за счет аэродинамического экрана, спустя 2.5 мин при достижении скорости 0.6 км/с вводилась в действие парашютная система – сработал твердо-

пливный двигатель, освободивший вытяжной парашют, затем с помощью вытяжного парашюта раскрылся основной парашют и сброшен аэродинамический обтекатель. После этого включился радиовысотомер, по команде программно-временного устройства включился двигатель мягкой посадки. На этапе парашютного спуска на высотах от 20 км до поверхности проводились измерения температуры и давления, а также определялся химический состав атмосферы. В течение 150 секунд результаты передавались на пролетный аппарат «Марс-6», но полезная информация выделена только из сигнала от радиокомплекса спускаемого аппарата, так как сигнал с пролетного аппарата был очень слабый, поэтому информацию



Предположительно так мог выглядеть посадочный аппарат «Марс-6» с четырьмя лепестками-опорами, с помощью которых аппарат принял вертикальное положение на марсианской поверхности. Слева развернут шагающий механизм ПрОП-М на штанге с кабелем, предназначенный для определения механических свойств грунта

с него расшифровать не удалось. Весь участок спуска – от входа в атмосферу и аэродинамического торможения до снижения на парашюте продолжался 5.2 мин. С помощью приборов «Зубр», ИТ и ИД в течение 3 мин 44 с получена информация о перегрузках, изменении температуры²⁰. Непосредственно перед посадкой связь с «Марс-6» была потеряна, но последняя полученная с него телеметрия подтвердила выдачу команды на включение двигателя мягкой посадки. Причину неудачи определить не удалось, к наиболее вероятной относятся: аппарат разбился в результате отказа радиокомплекса, хотя скорость спуска и работа двигателя мягкой посадки соответствовали расчетным (ударное ускорение при посадке 180 g, в периферийных местах до 240 g!); к аварийной ситуации привело превышение амплитуды колебаний ап-

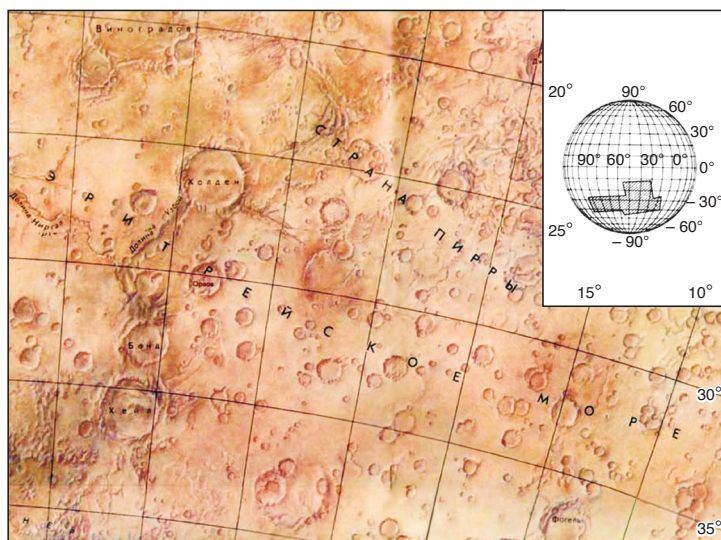
парата под действием порыва сильного ветра в момент включения двигателей мягкой посадки.

Совместный анализ всех полученных данных с «Марс-5 и -6» свидетельствует о следующих характеристиках атмосферы Марса в осенний период: средние значения давления и температуры у поверхности – 6.1 мбар (0,0006 МПа) и 230–150 К (–43–123 °С), в полдень максимальная температура достигает 272 К (–1 °С), ночью падает до 200 К (–73 °С), высота тропопаузы – 25–30 км (температурный градиент – 2.5 К/км), температура изотермической стратосферы – 160 К (–113 °С) и средняя – 144 К (–129 °С).

«Марс-7» подлетел к Марсу 9 марта 1974 г. – раньше, чем «Марс-6», – спустя 212 суток после старта, сделав всего одну коррекцию полета 16 августа, однако не получилось сформировать готовность работы первого и третьего каналов БЦВМ. Решающее негативное влияние на исход экспедиции оказали неправильно рассчитанные параметры разворота станции перед отделением спускаемого аппарата. По этой причине оба отсека «Марс-7» по пролетной траектории пролетели в 1300–1400 км

²⁰ Соколов С.С., Фокин В.Г., Бурцев В.П., Романов Р.С. и др. Функционирование спускаемого аппарата АМС «Марс-6» в атмосфере Марса; Авдеевский В.С., Аким Э.Л., Аleshин В.И. и др. Атмосфера Марса в районе посадки спускаемого аппарата «Марс-6» // Космические исследования. 1975. Т. XIII. Вып. 1. С. 9–15, 21–32.

Фрагмент карты участка поверхности Марса по материалам фотосъемки АМС «Марс-4 и -5». Справа указана сфотографированная область на глобусе Марса. ЦНИИГАиК, 1977 г.



от поверхности Марса и ушли в просторы космоса. Спускаемый аппарат еще какое-то время сохранял работоспособность и передавал телеметрию (но не с поверхности!) на пролетный аппарат «Марса-7», связь с которым поддерживалась до 25 марта 1974 г. Обработка данных «Марса-7» интенсивности излучения в резонансной линии атомарного водорода Лайман-альфа позволила оценить ее профиль в межпланетном пространстве и определить в ней две компоненты, каждая из которых вносит приблизительно равный вклад в суммарную интенсивность излучения. Полученная информация дала возможность вычислить скорость, температуру и плотность втекающего в Солнечную систему межзвездного водорода, выделить вклад галактического излучения в линии Лайман-альфа. Программа полета «Марса-7» вообще не была выполнена²¹.

²¹ Автоматические межпланетные станции «Марс-4, -5, -6, -7». Сайт НПО им. С.А. Лавоочкина // <https://www.laspace.ru/projects/planets/mars-4-7/>; Исследование Марса // Освоение космического пространства в СССР в 1973 г. М.: Наука, 1975. С. 215–236.

В программу французского эксперимента Stereo-5 на пролетных отсеках «Марс-6 и -7» входило решение двух задач: измерение временных сдвигов радиовсплесков Солнца в метровом диапазоне волн на частотах 30 и 60 МГц с целью изучения направления движения пучков солнечных заряженных частиц; исследование направленности радиоизлучения Солнца на частотах 30 и 60 МГц. Изучение солнечного радиоизлучения проводилось с двух различных направлений – с Земли из французских городов Нанси и Медоне и с «Марса-6 и -7». Все это позволило более точно определить диаграмму направленности исследуемого излучения. Эксперимент позволил получить ценные результаты о свойствах солнечных радиовсплесков. В частности, измерение направленности дало возможность построить модель нижней короны Солнца, значительно отличающуюся от предложенных ранее моделей со сферической симметрией. Таким образом, была реализована качественно новая методика изучения структуры, простирающейся над хромосферой Солнца.

Литературный космос

В этом номере знакомим вас с творчеством, которое рождается, в определенном смысле, внутри самой науки. Наш автор — Александр Анатольевич Соловьёв, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской академии наук. Область его научных интересов — физика Солнца.

Также Александр Анатольевич — поэт, член Союза российских писателей и переводчик с португальского, испанского, калмыцкого, башкирского и других языков. Его перу принадлежат многие поэтические сборники. Он перевел более 10 000 строк калмыцких поэтов, в марте 2022 г. А.А. Соловьёву было присвоено почетное звание Народного поэта Республики Калмыкия.

Александр СОЛОВЬЁВ

Брызги солнечной плазмы

Безумная щедрость солёной земли,
Цветущие дико и праздно,
Тюльпаны, тюльпаны, тюльпаны в степи —
Не брызги ли солнечной плазмы?!

А эти нежданные гости мои,
Упрямые рифмы-соблазны,
Тюльпаны стихов в осиянной крови —
Не ритмы ли солнечной плазмы?!

А эта улыбка, а эти огни,
Слепящие синью алмазной,
Любимая, ясные взоры твои —
Не вспышки ли солнечной плазмы?!

...Пора бы умерить восторги свои,
Порядку вещей сообразно,
Но сердце в магнитной ловушке любви
Беснуется солнечной плазмой!

Под высокою белой звездой

Под высокою белой звездой,
Над зыбучею темной водой
Мы стояли в тот вечер с тобою
Словно в центре Вселенной самой!

Небо-купол над нами качалось,
Море чашей плескалось у ног,
И гудящая Вечность, казалось,
Наши души брала под залог!

Недоступна и неисчислима
Мириадами звездных миров,
Словно Смерть холодна,
Словно Страсть негасима,
Неповторима... как Жизнь и Любовь!

Последние дни

О, последние дни уходящего
в прошлое года,
Дальних станций огни замечает
снегами пурга...
Покрывала свои расстилай под окном,
непогода,
Заливай серебром моих рек берега!

Мою степь наряди в непривычные
глазу уборы,
Осторожно накрой голубой
пеленой ковыли,
Все изъяны земли, всю досаду её и укоры
Своей щедрой рукой замети, занеси,
забели...

Мои горы укрась этой вьюжной,
искрящейся, снежной,
Так легко уносимой ветрами фатой...
Лишь дорогу мою, лишь звезду мою
в дали безбрежной
Не засыпь ненароком позёмкой пустой!..

Как будто мы — бессмертны

Идут года... На Пулковских аллеях
Все меньше их – любезных сердцу лиц,
Затерян след на вытертых ступенях
Вселенской лестницы,
ведущей в пропасть, вниз...

Мы все там будем в свой черед, однако
Никто из нас не знает, где, когда
Ночной дозор вдруг явится из мрака
И уведет с собою навсегда.

Так будем жить, как будто мы –
бессмертны,
Как будто не поставлен нам предел,
Все прошлые года – одномоментны!
А впереди – такая уйма дел!

Любое дело – мастера боится,
И спорится под умными руками,
И нам нужна – не робкая синица,
А сизый журавель над облаками!

Пусть журавель мечты не устаёт
Тревожить ночь упругими крылами
И высоту полёта задаёт
Им, молодым, летящим вслед за нами...

Им, молодым, на мир глядеть иначе,
Другие находить приоритеты,
И жить – счастливей, радостней, богаче
На пажитях стареющей планеты.

В тисках неразрешаемых проблем,
Под гиперзвуковую канонаду
Спасти в душе свой крохотный Эдем,
Как Дар небес, как высшую награду!

6 июня 2022

Осень

Пришла спасительная осень
С её прохладой и дождём,
И мы тепла уже не просим
И новых жарких дней не ждём.

Нам предпочтения Поэта
Близки, как печка и камин,
Вновь Осень, Пушкиным воспета,
Щедра на охру и кармин.

Щедра на новые надежды,
В преддверье матушки-зимы,
Ты лишь чуть-чуть прикроешь вежды,
И лес, и дальние дымы

Встают так ясно пред тобой,
В такую даль опять зовут,
Как будто этою зимою
Тебя не здесь — на Марсе ждут!

И в Новый год, срывая маски,
Такой объявишь перелёт,
Что в США мечтатель Маски
С ума от зависти сойдёт...

Увы, тот путь не будет пройден,
Ты не откроешь нужный чат,
Илон с ума не будет сойден,
Ему о том не сообщат...

«ЧЕЛОВЕК ИДЕТ СКВОЗЬ ЗВЕЗДЫ»

МАСЛОВА Юлия Валерьевна,

член Союза журналистов России

Российский государственный архив научно-технической документации

DOI: 10.7868/5004439482302010X

40 лет назад, с 24 июня по 2 июля 1982 г., состоялся полет космического корабля «Союз Т-6» с советско-французским экипажем в составе командира корабля В.А. Джанибекова, бортинженера А.С. Иванченкова и космонавта-исследователя Жан-Лу Кретьена (Франция)¹. Первая экспедиция посещения была доставлена на орбитальную научную станцию «Салют-7» – «Союз Т-5», где их принял экипаж долговременной экспедиции А.Н. Березовой (командир корабля) и В.В. Лебедев (бортинженер). Космонавты выполнили обширную программу научных исследований, разработанную советскими и французскими специалистами. К юбилею международного полета с 1 июля по 21 октября 2022 г. в Российском государственном архиве научно-технической документации (РГАНТД) прошла документально-художественная выставка «Человек идет сквозь звезды».

КАК СОЗДАВАЛСЯ ПРОЕКТ ВЫСТАВКИ

«Все мы родом из детства...» – так говорил знаменитый французский летчик, писатель и философ Антуан

де-Сент-Экзюпери. Еще в детстве автор данной статьи до дыр зачитывала журнал «Техника молодежи», который выписывали старшему брату. В журнале публиковались картины художников Андрея Соколова, Юрия Походаева, Виталия Лукьянца, летчиков-космонавтов Владимира Джанибекова и Алексея Леонова. Так состоялось мое знакомство с космонавтами. Пока что заочно, но очень хотелось поглядеть на живых космонавтов. Впервые увидеть и пожать руку космонавту-легенде Алексею Архиповичу Леонову мне посчастливилось только в 1994 г., на посмертной выставке Виталия Лукьянца. Осталась мечта увидеть Владимира Джанибекова. Не просто летчика-космонавта, а члена Союза художников СССР – шутка ли!

В марте 2022 г. началась работа в РГАНТД. Первое, что мне показали, был выставочный зал архива размером с теннисный корт. Со словами «берите и осваивайте» меня оставили размышлять, какую выставку сделать. Первое же, что пришло на ум – это 80-летний юбилей В.А. Джанибекова, отмечаемый 13 мая. Изначально юбилейная выставка планировалась как демонстрация всех пяти полетов командира космических кораблей «Союз» В.А. Джанибекова, совершившего полеты: дважды на станцию «Салют-6» и трижды на «Салют-7». Однако, подумав, мы решили делать выставку, посвященную 40-летию полета советско-французского экипажа «Союза Т-6».

¹ Ребров М.Ф., Козырев В.И., Денисенко В.А. СССР – Франция. На космических орбитах / Под ред. В.А. Шаталова, В.С. Верещагина. М.: Машиностроение, 1982.



Советско-французский экипаж «Союза Т-6»: А.С. Иванченков, В.А. Джанибеков и Ж.-Л. Кретьен (Франция). РГАНТД. Арх. 1-1494цв. Члены дублирующего советско-французского экипажа «Союз Т-6»: Л.Д. Кизим, В.А. Соловьёв и П. Бодри (Франция). РГАНТД. Арх. № 1-1509цв

Следующий этап – придумать нетривиальное название выставки. В журнале «Наука в СССР» за 1983 г., в рубрике «Советско-французский полет: факты, мнения, комментарии» была записана беседа с Мишелем Вейфоссом, французским ученым, участвовавшим в отборе кандидата на роль первого космонавта Франции. Он также был руководителем проекта «Космонавт», который еще назывался «Человек-звезда». Подпись под материалом состоит из трех авторов: М.Л. Борозин, В.С. Губарев, А.В. Покровский. Мишель Вейфосс в ходе беседы спросил: «Вы видели нашу эмблему?» Ответ был готовым названием выставки – «Человек идет сквозь звезды...» Мишель Вейфосс прокомментировал: «Это символ. Мы хотели показать нашему народу, что впервые француз дотянулся до звездного неба».

Эмблема советско-французского полета стала афишей выставочного проекта в РГАНТД: на синем поле, на фоне созвездия «Волосы Вероники», стремительно идет вперед человек, словно сотканный из звезд. Под ним изображены два флага – СССР и Франции.

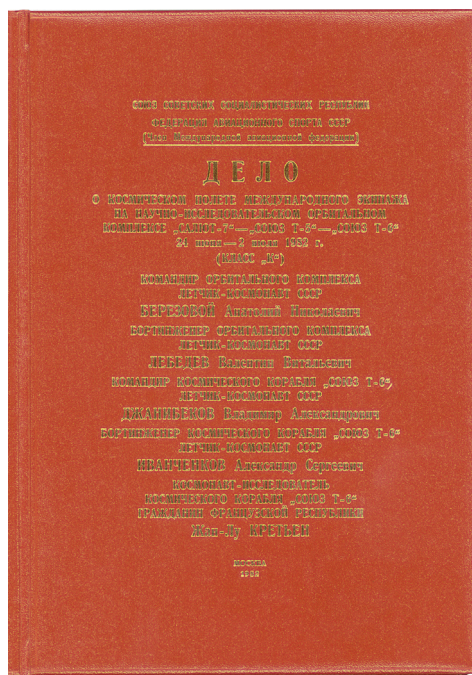
Эмблему «Человек-звезда» нарисовал французский художник и иллюстратор Мишель Гранже (Michel Granger), наиболее известный в нашей стране как автор обложек к музыкальным альбомам «Equinoxe» и «Oxygene» французского композитора Жана Мишеля Жарра (Jean-Michel Jarre), одного из пионеров электронной музыки.

Эмблема советско-французского полета «Человек-звезда»



Об авторе эмблемы мне удалось узнать из мемуаров А.С. Иванченкова². Название его книги имеет литературные корни: «Еще в детстве, как и все мои сверстники, я зачитывался Жюлем Верном. Книги его, с увлекательными путешествиями по земле и в глубинах океанов, с полетами в атмосферу и, наконец, в космос, будили воображение и неотступно тянули в прекрасный мир странствий. ...Нас в экипаже трое. Именно трое, как и в романе Жюль Верна “С Земли на Луну”, написанном еще в 1865 году. И с нами француз Жан-Лу Кретьен, – чем не остроумный и отважный парижанин Мишель Ардан – герой романа! Вот только напарники по экипажу теперь не американцы, а советские люди...» У Жюль Верна Александр Сергеевич позаимствовал единицу измерения – лье. Посчитав, сколько километров пролетели космонавты «Союза Т-6» за 8 суток, и переведя их в лье, Иванченков получил цифру: «Итак, миллион лье над планетой – таким должно стать первое космическое путешествие первого французского космонавта».

В день открытия выставки в витрине был выложен подлинный архивный



«Дело о космическом полете
международного экипажа на научно-
исследовательском орбитальном комплексе
"Салют-7" – "Союз Т-5" – "Союз Т-6" 24 июня –
2 июля 1982 г.» РГАНТД. Ф. 24, Оп. 1, Д. 57

документ Федерации авиационного спорта СССР «Дело о космическом полете международного экипажа на научно-исследовательском орбитальном комплексе “Салют-7” – “Союз Т-5” – “Союз Т-6” 24 июня – 2 июля 1982 г.» (далее – «Дело о рекордах»). После окончания торжественного открытия подлинник был заменен копиями листов из архивного дела. В «Деле о рекордах», в карточке общих сведений, дается описание: «“Союз Т” представляет собой усовершенствованный пилотируемый двух – трехместный транспортный корабль. Он предназначен для доставки экипажа на орбитальные станции типа “Салют” и возвращения его на Землю, а также для транспортировки грузов. Конструкция и системы корабля обеспечивают с высокой

надежностью выполнение сближения и стыковки со станцией, осуществление длительного полета в составе орбитального комплекса и спуск на Землю с посадкой в заданном районе»³. Читая о «высокой надежности стыковки», понимаешь, что «Дело о рекордах» – одно, а реальность – другое. Всем космонавтам известно понятие «нештатная ситуация», которая неоднократно отрабатывается на тренажерах на земле. Она случилась в космосе: «На экране дисплея, решительно устранив кадр с картиной нашего сближения, появляется совсем неожиданная для нас информация: вращение корабля идет с нерасчетными скоростями, и вычислительный комплекс дает команду использовать дублирующий комплект измерительных приборов... ЭВМ... отключает все системы автоматического сближения, предоставляя нам последнюю возможность сближения вручную. ... – “Даю”, – и мои пальцы сами потянулись к кнопкам ручного режима управления. – “Давай”, – руки Владимира опустились на ручки управления корабля» – кратко описал А.С. Иванченков драматичный момент полета. Так, решимость командира Джанибекова и бортинженера Иванченкова за несколько секунд спасла советско-французский полет, готовившийся несколько лет.

ПОЧЕМУ НА ВЫСТАВКЕ ПОЯВИЛИСЬ КАРТИНЫ

Художественную часть выставки представляют произведения художников-космистов. Изначально космизм появился как одно из направлений философской мысли, стремившейся познать законы Вселенной, теории ее возникновения и место человека в космической эволюции. Мысли об освоении

планет, изучении звезд и галактик, возможности полета человека в космос дали толчок к появлению космизма в живописи. Художники-космисты отражают в своих картинах философские представления о душе как частице космоса. Их живопись – это стремление прикоснуться к тайнам мироздания, оторваться от Земли и разорвать оковы притяжения. С появлением пилотируемой космонавтики космос стал изображаться не только как фантастическая реальность, но и как среда работы и жизни человека.

Среди возвращаемых на Землю в корабле «Союз Т-6» грузов были не только контейнеры с материалами научных исследований, но и эскизы с видами Франции из космоса. Выполнил их А.К. Соколов, изобразив родину Жан-Лу Кретьена так, как она представлялась с Земли художнику. В полете космонавты внесли уточнения в эти эскизы. Мы не знаем точно, кто это сделал – Кретьен или Джанибеков. Жан-Лу тоже немного рисует, что проявляется в увлечении делать рисунки-шаржи, посвященные каким-либо событиям в его жизни. А.С. Иванченков вспоминал, что Кретьену страстно хотелось увидеть из космоса родную Францию. «Саша, где Бретань, где Париж?» – спрашивал он у бортинженера. «Жан, Бретань перед моим иллюминатором. Вижу костер, который зажгли твои земляки в Морле в честь начала твоего полета». Кроме эскизов Соколова на орбитальной станции побывала картина Ю.А. Походаева «В свободном полете». Космонавты брали с собой на станцию работу французского художника Виктора Вазарелли «Вихрь». После возвращения экипаж оставил на этой картине автографы, подарив ее штабу-квартире ЮНЕСКО. По сути, орбитальный комплекс «Салют-7» – «Союз Т-5» – «Союз Т-6» стал не только научной станцией, но и выполнившей особую культурную миссию.

³ РГАНТД. Ф. 24. Оп. 1. Д. 57. Л. 2.

УЧАСТНИКИ ВЫСТАВОЧНОГО ПРОЕКТА

Миссия выставочного проекта «Человек идет сквозь звезды» – популяризация истории космонавтики с помощью архивных документов и живописи, присутствие которой обусловлено самой историей полета советско-французского экипажа. Одними из ярких экспонатов выставки стали картины живописца и графика, заслуженного художника РСФСР Юрия Филипповича Рязанова (1936–1985). За годы работы в Студии военных художников имени М.Б. Грекова он создал ряд произведений, посвященных космической теме. Рядом с афишей выставки расположились его картины «Международный экипаж Союз-39: В.А. Джанибеков и Ж. Гуррагча (МНР)» (1982) и «Международный экипаж Союз Т-6: А.С. Иванченков, Жан-Лу Кретьен (Франция) и В.А. Джанибеков» (1983). Коллективный портрет советско-французского экипажа написан в холодных тонах, на фоне сине-

го космоса. В иной манере выполнен портрет советско-монгольского экипажа. Космонавт Гуррагча изображен полусидя, с бортовым журналом в руках. Джанибеков парит в невесомости, пытаясь в полете ухватиться за крылья огненного Пегаса, обернувшись лицом к зрителю. У художника В.А. Джанибекова полет ракеты тоже иногда изображается в виде коней, в чем, вероятно, сказывается привычка мерить мощность двигателей в лошадиных силах...

На выставке появились картины и моего давнего знакомого – художника Игоря Анисифорова. Мы познакомились на выставке космистов в 1990-х гг. благодаря В.Г. Лукьянцу. Анисифоров первый откликнулся на мое предложение участвовать в выставке. Он родился 23 июля 1947 г. в Москве. Не имея художественного образования, в 1970-х гг. серьезно увлекся рисованием, стремясь передать в картинах рассказы очевидцев о встрече с НЛО. Темы его произведений – это уфология, так называемые «места силы» на Земле, символические сюжеты, содержащие элементы



Картины Ю.Ф. Рязанова «Международный экипаж Союз Т-6: А.С. Иванченков, Жан-Лу Кретьен (Франция) и В.А. Джанибеков», 1983 г. и «Международный экипаж Союз-39: В.А. Джанибеков и Ж. Гуррагча (МНР)», 1982 г. В центре – афиша выставки. Фото Н.В. Глищинской



Анисифоров И.А. «Крупница Вселенной». Холст, масло. 2015 г.

буддизма, христианства и философии космизма. На выставке было представлено 14 работ Анисифорова. Картины имеют говорящие названия: «Космос», «Мост времени», «Крупница Вселенной», «Свет разума», «Россия. Возрождение». В 2014 г. И.А. Анисифоров стал членом Творческого союза художников (ТСПХ).

За годы, что мы не виделись, у Игоря Анисифорова появилась ученица Алёна Чагина. Она родилась 16 февраля 1994 г. на Сахалине, не получила художественного образования, что не помешало ей создать талантливые работы. Символические произведения Алёны требуют расшифровки зрителем того смысла, который художница заложила в свое произведение. Таковы сюжеты картины «Ключ», «Инфинити», «Вне пространства», «Под знаком Пи», «Первоначало». Всего на выставке было показано десять ее работ. В 2016 г. Алёна



Чагина А.Б. «Первоначало». Зеркало, масло, пенокартон, смешанная техника. 2021 г.

Чагина тоже стала членом Творческого союза художников (ТСПХ).

Четвертым участником проекта стал художник Сергей Антипов. Он родился 29 декабря 1979 г. в знаменитом подмосковном селе Федоскино, окончил Федоскинское художественно-промышленное училище миниатюрной живописи и факультет «Изобразительного искусства и народных промыслов» Московского государственного областного университета, получив диплом учителя рисования. С 1997 г. является членом Творческого союза художников



Антипов С.Б. «Гравитация». Холст, акрил, масло. 2022 г.

России. Антипов работает в технике миниатюрной и станковой масляной живописи в жанре пейзажа. Представленные на нашей выставке картины – это творческий эксперимент художника в духе космизма. Его картины «Планета Земля. Три миллиарда лет назад», «Звездопад», «Фантомный остров», «Гравитация» и другие написаны в технике трехслойной живописи, характерной для лаковой миниатюры. По словам художника, цикл навеян космической музыкой. В проекте было представлено 15 его работ.

Еще одним участником выставки стал Дмитрий Ярошевский, он возглавляет Творческое объединение художников «Созвездие видений», коллекционер филателии космической тематики, сотрудник Центра корпоративной культуры ЦАГИ. На выставку он предоставил сувенирный лист со специальной серией почтовых марок и блоком, выпущенные почтой СССР, конверты с символикой советско-французского полета со спецгашением, а также полетные эмблемы (нашивки) советского и французского членов экипажа «Союза Т-6». В витрине были также предметы из личной

коллекции Нины Семёновны Кирдоды – академика Российской Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, почетного строителя Байконура, создателя и первого вице-президента ассоциации музеев космонавтики «АМКОС». Сюда же в витрину мы поместили книжные издания из справочно-информационного фонда РГАНТД.

СТРУКТУРА ДОКУМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВЫСТАВКИ

Из отобранных фотодокументов получился стройный рассказ, размещенный в 12 планшетах.

Первый состоял из портретов членов основного и дублирующего экипажа «Союза Т-6». В центре основного – командир корабля В.А. Джанибеков, он был самым молодым членом экипажа, но к 40 годам совершил уже два полета в качестве командира «Союза-27» и «Союза-39». А.С. Иванченкову 42, за его плечами есть опыт полета бортинженером на «Союзе-29». Космонавт-исследователь Жан Лу Кретьен был старше всех – ему 44 года, и это пер-

вый его полет. Командиру дублирующего экипажа Владимиру Соловьёву всего 36 лет, в экипаж его зачислили впервые. Бортинженеру Л.Д. Кизиму 41, он летал в качестве командира «Союза Т-3». Дублером космонавта Франции стал Патрик Бодри, ровесник В.А. Соловьёва. В июне 1980 г. Жан-Лу Кретъен и Патрик Бодри были отобраны из 430 кандидатов-добровольцев страны, среди которых было 26 женщин. После 9 месяцев испытаний они вышли в финал.

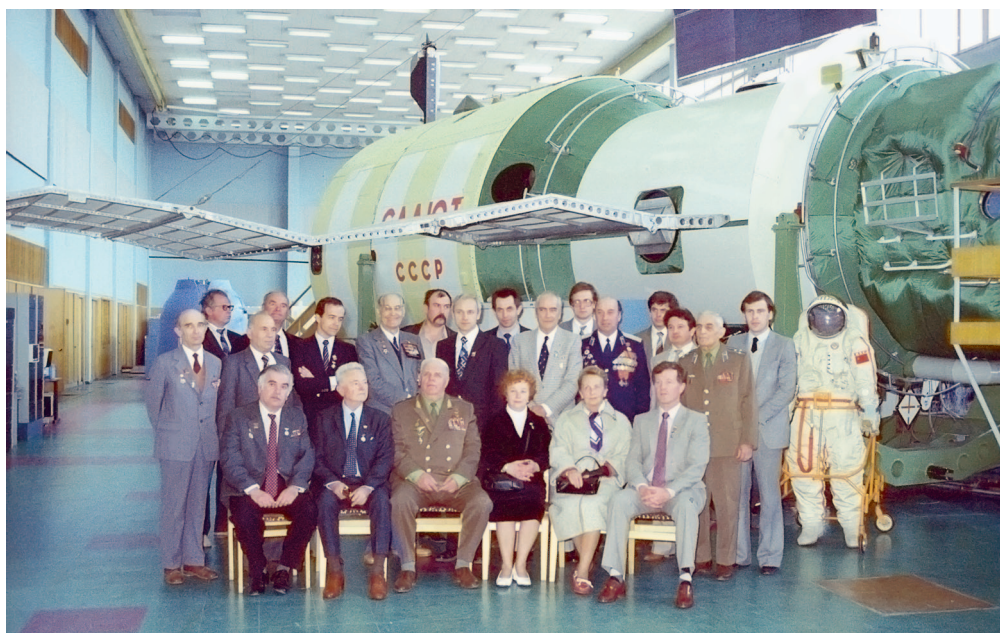
На втором планшете разместились фотографии космонавтов во время тренировок на тренажерах. Третий условно назван «На досуге»: Джанибеков за оформлением стартовой газеты «Апогей», Джанибеков и Кретъен за кинофотосъемкой во время прогулки в лесу, экипажи «Союза Т-6» и «Союза Т-5» во время отдыха в профилактории для космонавтов.

Четвертый планшет – небольшое открытие куратора выставки. При отборе фотографий мне попала целая серия снимков встречи космонавтов с ветеранами полка «Нормандия-Неман». В 40-летний юбилей истребительно-авиационного полка «Нормандия-Неман», который отмечался в 1982 г., ветераны приехали в Звездный городок, чтобы встретиться с летчиками-космонавтами, готовившимися к полету на «Союзе Т-6». Судя по архивным фотографиям, летчики «Нормандии-Неман» подарили космонавтам памятные значки и книгу о легендарной авиационной эскадрильи.



Планшет «На досуге»

На пятом помещены снимки тренировок на тренажерах «Союз Т» и «Салют» в Центре подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина (ЦПК). Так, при подготовке космонавта-исследователя его учат только самым необходимым действиям, обеспечивающим собственную безопасность. Главная задача Кретъена и Бодри – выполнение научных экспериментов по национальной программе. Однако космонавту-исследователю не запрещено наблюдать за работой коллег и потихоньку у них учиться. «Мы привыкли всегда помогать друг другу. Это в русском духе. И Кретъен уловил этот нюанс. Он



Космонавты П. Бодри, В.А. Джанибеков, А.С. Иванченков, В.А. Соловьёв, Л.Д. Кизим в группе летчиков-ветеранов эскадрильи «Нормандия-Неман» около тренажера орбитальной станции «Салют» во время посещения Звездного городка. В первом ряду крайний справа – Ж.-Л. Кретьен. 1982 г. РГАНТД. Арх. № 0-2667цв



Космонавты А.С. Иванченков, В.А. Джанибеков и Ж.-Л. Кретьен принимают поздравления Г.Т. Берегового и А.А. Леонова с успешной сдачей экзаменов. Июнь 1982 г. РГАНТД. Арх. № 1-3663цв

оказался нам русским по духу и приближал нас к французам. Он по-прежнему вроде бы дремал на тренировках, но теперь уже эта хитрость никого не вводила в заблуждение. Если возникала необходимость в помощи, командир экипажа тихо произносил: «Жан».

Повторять никогда не приходилось» – писал сотрудник ЦПК В.С. Лесников⁴.

Шестой планшет демонстрирует сцену поздравления руководителями ЦПК

⁴ Лесников В.С. Рядом с космонавтами. Французское время. 1980–1989. Королёв: Космос, 2010.

Г.Т. Береговым и А.А. Леоновым космонавтов основного экипажа с успешной сдачей экзаменов, перелет экипажей на Байконур, традиционную посадку дерева на аллее космонавтов.

На седьмом размещены фотографии вывоза ракеты-носителя с кораблем «Союз Т-6» на стартовую позицию. «Храм космонавтики» – сказал Патрик Бодри, осматривая готовую к полету ракету. Фотографии запечатлели также предполетную конференцию советско-французского экипажа и рапорт председателю государственной комиссии К.А. Керимову.

Восьмой – посвящен изучению космонавтами бортовой и научной аппаратуры. За 8 дней полета экипажу предстояло провести 14 научных экспериментов в области медицины, биологии, астрофизики, космического материаловедения. Помимо советских научных учреждений, 20 французских институтов разрабатывали эксперименты и аппараты. Грузовой корабль «Прогресс-13» привез на орбитальную станцию 400 кг научной аппаратуры⁵.

Девятый планшет зафиксировал работу и жизнь космонавтов на орбитальной станции, проведение научных экспериментов «Пирамид» в области астрофизики и геофизики и «Цитос» по исследованию клеточной биологии. На одной из фотографий Жан-Лу Кретъен держит орхидею в руках. В изданном дневнике «Мое измерение» бортинженер В.В. Лебедев записал, что после стыковки «Союза Т-6» с орбитальной станцией «Салют-7» в 12 часов ночи были открыты переходные люки и два экипажа встретились. «Ребята в станцию вошли со светоблоком, внутри которого были цветущие орхидеи из Киевского ботанического сада. Их прислал



Ж.-Л. Кретъен с орхидеями в руках готовится к бортовой пресс-конференции на борту орбитального научного комплекса «Салют-7» – «Союз Т-5» – «Союз Т-6». 28 июня 1982 г. РГАНТД. Арх. № 1–3697 цв

Институт биотехники, где работает моя Люся. Постаралась, милая».

Десятый планшет – космонавты вернулись на Землю. Они дают первое интервью, оставляют автографы на спускаемом аппарате. «Спасибо за надежность!» – написал В.А. Джанибеков, а Кретъен добавил – «Merci!»

Одиннадцатый планшет получился невероятно теплым: на фотографиях космонавты Джанибеков и Иванченков улыбаются. Они пришли на сеанс связи с экипажем орбитальной станции «Салют-7». В.В. Лебедев вспоминает: «Мы поздравили ребят с хорошим приземлением. Спрашиваем: «Не надоело на Земле, а то снова приезжайте – у нас спокойнее и ра-

⁵ Филиппченко А.В., Меньщиков В.А. Первый советско-французский пилотируемый // Земля и Вселенная. 1982. № 3. С. 12–16.



Космонавты на хлопковом поле колхоза «Октябрь» в Самаркандской области Узбекской ССР. В центре снимка – А.С. Иванченков. Октябрь 1982 г. РГАНТД. Арх. № 0-5279цв



Ж.-Л. Кретьен играет на электрооргане для своих гостей – космонавтов В.А. Джанибекова и А.С. Иванченкова, сына Оливье. 1982 г. РГАНТД. Арх. № 1-1317цв

бота интересней“. “Это точно”, – отвечают и смеются»⁶. Есть на планшете и общая фотография членов основного и дублирующего экипажей в ЦУП во время сеанса связи. Но особенно нравятся мне снимки космонавтов во время поездки в Узбекистан, на родину Джанибекова. На одном из них Патрик Бодри пробует лепешки, преподнесенные дорогим гостям во время встречи с жителями Ташкента, на другом видно хлопковое поле, где космонавты пробуют собирать хлопок своими руками.

На последнем планшете помещен интересный кадр: во время поездки во Францию А.С. Иванченков поймал на удочку рыбу. На других фотографиях Джанибеков и Иванченков в гостях у Кретьена, в его квартире в Звездном городке. В интерьере квартиры хорошо виден электроорган: Кретьен любит органную музыку, профессионально играет на инструменте и за полтора года проживания в Звездном собрал его своими руками. Важной вехой в жизни космонавтов стало награждение советско-французского экипажа орденом Почетного Легиона Франции.

⁶ Лебедев В.В. Мое измерение. Записки летчика-космонавта. М.: Наука, 1994.

ТОРЖЕСТВЕННОЕ ОТКРЫТИЕ И ЗАКРЫТИЕ ВЫСТАВКИ

История выставки «Человек идет сквозь звезды» была бы неполной, если бы мы не рассказали о торжественном открытии и закрытии выставки. На открытие пришло много гостей: летчики-космонавты, представители Росархива и Роскосмоса, руководство Студии военных художников им. М.Б. Грекова, а также художники, участвовавшие в выставочном проекте. Перед началом торжественного открытия гостям были подарены памятные значки «СССР – Франция. 40 лет полета Союз Т-6. РГАНТД».

Выставку открыла директор архива М.А. Власова: «У нас сегодня радостный день, праздник. Мы открываем выставку, посвященную 40-летию полета советско-французского экипажа. Это новаторский проект для РГАНТД. Очень радостно, что он объединил архивистов, космонавтов и художников». По программе, после приветственных слов, планировалось выступление космонавтов и просмотр документального фильма из фондов РГАНТД «Восемь дней над планетой» (1982). Многие кадры практически совпадали с фото, отобранными для выставки еще до выявления фильма в фондах: подготовка, тренировка, часы досуга, полет и возвращение космонавтов. Врезались в память слова Антуана де Сент-Экзюпери, произнесенные диктором: «Уносимые одной планетой, мы команда одного корабля...»

Директор РГАНТД М.А. Власова
и летчик-космонавт
В.А. Джанибеков. 1 июля 2022 г.
Фото Ю.А. Шведчикова

Самым долгожданным было выступление летчика-космонавта СССР, дважды Героя Советского союза В.А. Джанибекова. Владимир Александрович рассказал несколько интересных моментов. Изначально он готовился к полету вместе с А.П. Александровым, с которым изучали «Союз Т-7». Параллельно он готовился по программам орбитального самолета «Спираль», МАКС (многоцветной авиационно-космической системы) и «Буря». Однако во время подготовки основного советско-французского экипажа у командира корабля Ю.В. Малышева обнаружили проблемы со здоровьем и его отстранили от подготовки. «За пару дней до Нового года меня вызывают и говорят, что решено, мы включаем тебя в экипаж», – рассказал В.А. Джанибеков. Вспомнил он и случай с Кретьеном. Уехав во Францию, Жан-Лу пытался подарить орган, собранный в Звездном городке, Мемориальному музею космонавтики. Но, по словам Джанибекова, «великого энтузиазма у музея не возникло, чтобы выбить деньги и привезти из Франции в Москву интересный агрегат». Рассказал командир и про ручную стыковку «Союза Т-6» со станцией. Его речь была записана и стала документом РГАНТД, с которым можно теперь познакомиться в нашем архиве.





Выступает летчик-космонавт, дважды Герой Советского союза А.С. Иванченков. За столом – директор РГАНТД М.А. Власова и летчик-космонавт В.А. Джанибеков. 21 октября 2022 г. Фото Ю.А. Шведчикова



Сотрудники РГАНТД М.В. Добренская, Ю.В. Маслова, Л.В. Еремина и С.Х. Шамсутдинов на открытии выставки с летчиком-космонавтом В.А. Джанибековым (в центре). 1 июля 2022 г. Фото Ю.А. Шведчикова

21 октября на закрытии выставки было немало гостей, уже побывавших в архив, и приехавших к нам впервые: летчики-космонавты В.А. Джанибеков, А.С. Иванченков и С.В. Авдеев, летчик-космонавт и президент центра «Космонавтика и авиация» на ВДНХ Ф.Н. Юрчихин, представитель «Роскосмоса» Д.В. Вотоновский и научный руководитель ИКИ РАН академик Л.М. Зелёный. После приветственных слов гости архива посмотрели 10-минутный

ролик, сделанный на основе документального фильма из фондов РГАНТД «И космос и Земля для мира» (1982), имеющего статус «особо ценного документа». Он посвящен послеполетным мероприятиям советско-французского экипажа, в составе делегации посетившего города СССР и Франции. Оживление зрителей вызвали кадры, где космонавты идут в бухарских халатах и тюбетейках, собирают хлопок и ловят рыбу. После просмотра фильма выступили с воспоминаниями В.А. Джанибеков и А.С. Иванченков. Находясь под впечатлением от их рассказов, Игорь Анисифоров предложил снять документальный фильм, посвященный воспоминаниям космонавтов о полете. Закрытие сопровождали музыкальные импровизации композитора Юлия Веденина.

Выставку «Человек идет сквозь звезды» посмотрело много людей, приехавших на экскурсии, организованные архивом. Всего за 3,5 месяца экскурсию послушало 20 групп, основную часть которых составили сотрудники государственных архивов и предприятий Роскосмоса.

Мы слышали много теплых слов в адрес РГАНТД, а в книге отзывов посетители оставили свои впечатления и добрые пожелания. Закончить рассказ о выставочном проекте хотелось бы словами Жан-Лу Кретьена. Незадолго до полета, попав в пансионат на Рузском водохранилище, космонавты отправились вечером на лодке порыбачить. Очарованный земной красотой заката, Кретьен сказал: «Вот ради таких моментов в жизни и стоит жить».

EARTH & UNIVERSE

3 (351), 2023

May–June

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Vasiliy V. ASMUS, Lyubov S. KRAMAREVA, Andrey A. FILEY <i>Arktika-M</i> : New Step of the Space Meteorology	5
Denis V. KALASHNIKOV, Igor G. MITROFANOV The Giant Martian Glacier	13
Igor G. MITROFANOV, Maya V. Dyachkova, Denis V. KALASHNIKOV, Denis I. LISSOV, Maxim L. LITVAK, Sergey Yu. NIKIFOROV The DAN Experiment: Thermonuclear Synthesis To Probe the Martian Surface With Neutrons	23
Anna F. GOVOROVA Life On Venus	42
Nikolay V. EMELYANOV Celestial Mechanics in the Service of Humanity	61
History of Science	
Sergey Yu. MASLIKOV Three Astronomers Commander	68
Sergey A. GERASYUTIN Anniversary of the Martian Armada	76
Literary Space	
Alexander A. SOLOVYEV Poems	96
Exhibitions and Museums	
Yulia V. MASLOVA “Human Goes Through Stars”	98
Table of Content	111

Cover image:

Close-up of Valles Marineris from global Mars colour mosaic produces by the High Resolution Stereo Camera (HRSC) onboard ESA's Mars Express spacecraft. On June 2, 2023, Mars Express has celebrated its 20th anniversary since its launch from Baikonur cosmodrome. Russian scientists also participate in the project.

Image credits: ESA/DLR/FU Berlin/G. Michael, CC BY-SA 3.0 IGO

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 3/2023

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

+7(495) 276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukapublishers.ru

по вопросам сотрудничества:

+7(495) 276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukapublishers.ru

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 03.05.2023 Подписано к печати 12.06.2023

Дата выхода в свет 26.06.2023 Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.42 Уч.-изд.л. 9.42 Бум.л. 3.62

Тираж 1000 экз. Заказ № 7 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



Реклама

издательство
НАУКА
— 1727 —



**НОВИНКИ И АКЦИИ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**



vk.com/naukapublishers



t.me/naukapublishersru

издательство
НАУКА
— 1727 —

Типография ФГБУ «Издательство «Наука»
www.tnauka.ru

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

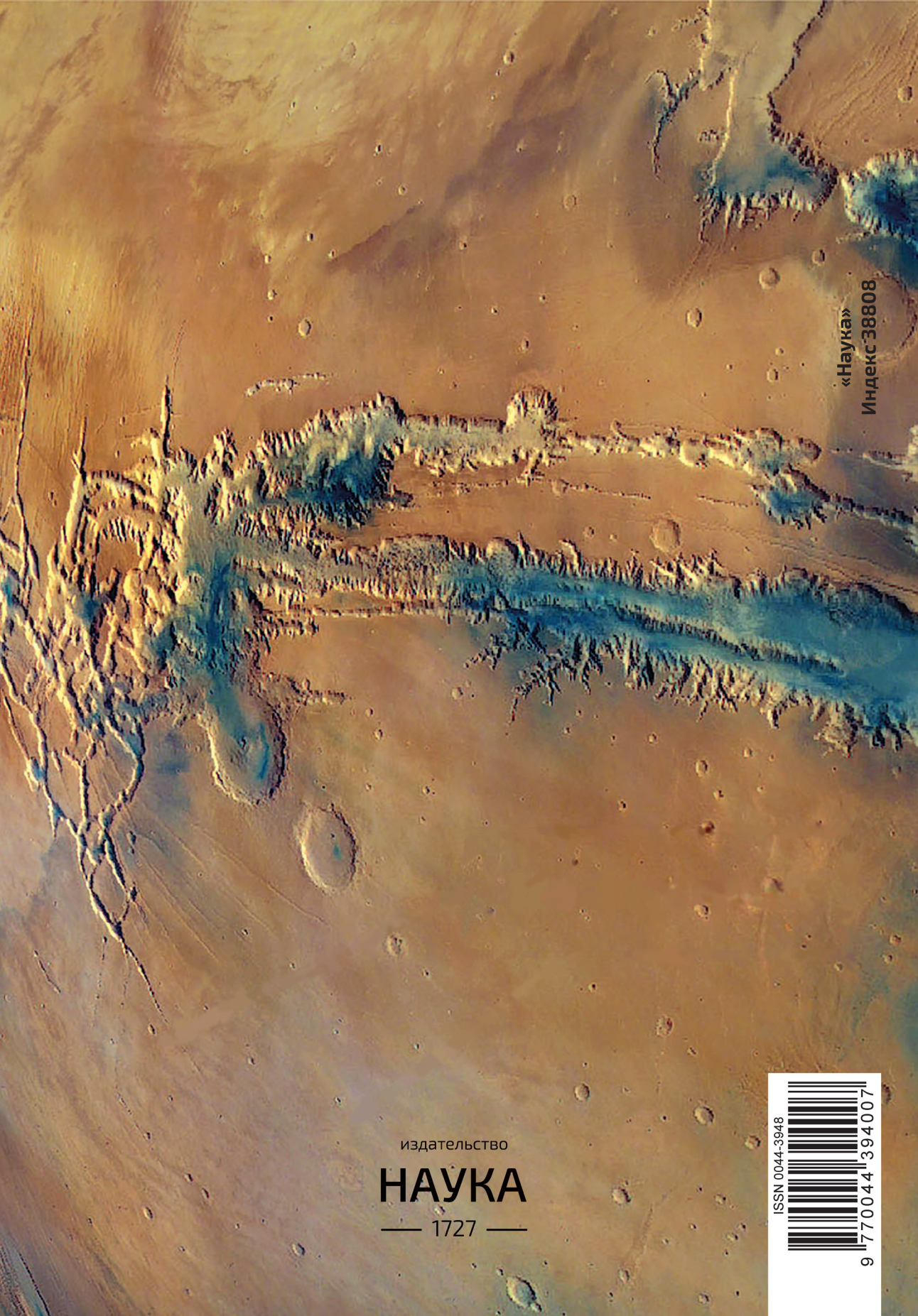


Удобное месторасположение
Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург



«Наука»
Индекс 38808

издательство

НАУКА

— 1727 —

ISSN 0044-3948



9 770044 394007